



Patrícia Gomes de Carvalho

Licenciada em Ciências da Engenharia e Gestão Industrial

Aplicação de um sistema híbrido TLS a uma linha de montagem multimodelo

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia e Gestão Industrial

Orientadora: Professora Doutora Alexandra Maria Baptista Ramos Tenera
Professora Auxiliar,
Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

Co-orientador: Professor Doutor Pedro Emanuel Botelho Espadinha da Cruz
Professor Auxiliar Convidado,
Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

Júri:

Presidente: Professora Doutora Ana Sofia Leonardo Vilela de Matos

Vogais: Professora Doutora Carina Maria Oliveira Pimentel
Mestre Rui Manuel Ferreira Dias
Professora Doutora Alexandra Maria Baptista Ramos Tenera



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Setembro, 2019

Patrícia Gomes de Carvalho

Licenciada em Ciências da Engenharia e Gestão Industrial

Aplicação de um sistema híbrido TLS a uma linha de montagem multimodelo

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia e Gestão Industrial

Orientadora: Professora Doutora Alexandra Maria Baptista Ramos Tenera
Professora Auxiliar,
Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de
Lisboa

Co-orientador: Professor Doutor Pedro Emanuel Botelho Espadinha da Cruz
Professor Auxiliar Convidado,
Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de
Lisboa

Setembro, 2019

Aplicação de um sistema híbrido TLS a uma linha de montagem multimodelo

Copyright © Patrícia Gomes de Carvalho, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

Primeiramente, gostaria de deixar uma nota de especial apreço à instituição de ensino que me acolheu e que enriqueceu a minha formação académica, um muito obrigado à Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa.

Um agradecimento especial à Professora Alexandra Tenera e ao Professor Pedro Espadinha, por toda a orientação, disponibilidade e sugestões dadas.

Agradeço à empresa que me acolheu e acompanhou na realização do meu estágio, a Visteon Portuguesa Lda, pela dedicação e disponibilidade prestada. Tida como empresa de prestígio e dimensão globais que, no âmbito da formação contínua, crescimento e desenvolvimento de competências dos seus quadros, cria as condições e promove um ambiente propício à aprendizagem e formação profissional.

Deixo um agradecimento reconhecido a todos os colaboradores com quem tive o privilégio de trabalhar ou conhecer, com especial destaque para o meu Orientador, Nuno Fontes. Responsável pela área de *Board Prep*, onde incidiu o meu estudo, que sempre se prontificou a orientar o meu trabalho, ajudando-me e recebendo-me com simpatia e apresentando-me o projeto a tratar.

Por fim, à minha família e amigos, pelo apoio e motivação que têm dado desde sempre.

Resumo

Num momento em que o mercado automóvel é cada vez mais competitivo e exigente, e em que os sistemas produtivos se tornaram mais flexíveis e evoluídos tecnologicamente, torna-se cada vez mais importante a satisfação do Cliente da forma mais eficiente possível.

Neste sentido, torna-se essencial a integração da filosofia da Melhoria Contínua nas organizações, de modo a solucionar os problemas nos sistemas produtivos. Assim, vários são os autores que defendem que a solução destes problemas passa pela redução de variabilidade e desperdícios, com foco nos elementos que impedem a organização de evoluir.

Nesta ótica, a presente dissertação tem como principal objetivo propor um modelo híbrido integrador das metodologias Teoria das Restrições, *Lean* e *Seis Sigma* para linhas multimodelo, validando os impactos organizacionais conseguidos com a implementação dos modelos híbridos TLS de suporte à melhoria contínua em geral. Outro objetivo da dissertação é o de avaliar a contribuição de uma análise SMED (*Single Minute Exchange of Die*) na fase de subordinação do sistema.

Modelo este baseado nos cinco passos da Teoria das Restrições mas em que a exploração da Restrição é realizada através da aplicação de ferramentas *Lean* e *Seis Sigma* e em que para a sua aplicação se recomenda a utilização de um *software* de simulação, capaz de identificar a restrição e testar as melhorias sugeridas durante a exploração da restrição e a aplicação do DBR, e um *software* de estatística de modo a estudar se tempos de ciclo de diferentes modelos pertencem ou não à mesma população, especialmente importante na aplicação do modelo desenvolvido a linhas mistas ou multimodelo.

O estudo inerente à aplicação do modelo TLS foi desenvolvido na Visteon Portuguesa, na fábrica de Palmela, numa linha de montagem multimodelo com tecnologia SMT.

Os resultados do estudo verificam um aumento de capacidade da linha de 6,39%, permitindo a produção de 140 peças adicionais por turno, o através da implementação do modelo híbrido TLS desenvolvido, e ainda a importância da utilização da simulação como ferramenta de apoio à decisão na melhoria contínua.

Palavras-chave: Linha de montagem SMT; Melhoria Contínua; *Lean*; *Seis Sigma*; Teoria das Restrições; DBR; SMED; Simulação.

Abstract

At a moment when the competitiveness and demands of the automobile market are continuously growing, and productive systems are becoming more flexible and technologically advanced, efficient client satisfaction is increasingly important

Therefore, the integration of continuous improvement processes in companies appears as paramount in order to solve problems in productive systems. Thus, many authors argue that the solution to these issues is the reduction of variability and waste, with a focus on the elements that prevent the development of the organization.

Having this in mind, the main goal of this dissertation is to propose a hybrid model for multi-model assembly lines that integrates Theory of Constraints, Lean and Six Sigma. It confirms the organisational impacts that the implementation of TLS hybrid models supporting continuous improvement have in general. Another aim of this study is to evaluate the contribution of a SMED analysis (Single Minute Exchange of Die) during the system subordination phase.

This model is based on the five steps of the aforementioned theory, but the exploitation of the restriction is done through the use of Lean and Six Sigma tools. For the application of these tools, a simulation software, able to identify the constraint and test the improvements suggested during the analysis of said constraint and application of the DBR was chosen. On the other hand, to investigate whether or not the cycle times of different models belong to the same population, especially significant in applying the developed model to mixed and multi-model assembly lines, a statistical software was used.

The study underlying the application of the TLS model was undertaken at *Visteon Portuguesa*, at the factory in Palmela, in a multi-model assembly line with STM technology.

The results of the study indicate an increase in the capacity of the assembly line in 6,39%, allowing an increase of 140 pieces produced per shift, due to the developed TLS hybrid model and also the importance of simulation as a tool of support to decision-making in continuous improvement areas.

Keywords: SMT assembly line; Continuous Improvement; Lean; Six Sigma; Theory of Constraints; DBR; SMED; Simulation.

Lista de abreviaturas e siglas

- BM – *Buffer Management* – Gestão do *buffer*
- CCR – *Capacity Constrained Resource* – Recurso restritivo de capacidade
- CRD – *Conflict Resolution Diagram* – Diagrama de Resolução de conflitos
- CRT – *Current Reality Tree* - Árvore Realidade Atual
- DBR – *Drum, Buffer, Rope* - Tambor-Reserva-Corda
- EC – *Evaporating Cloud* - Diagrama de Resolução de conflitos
- FRT – *Future Reality Tree* – Árvore de Realidade Futura
- GT – *Goal Tree* – Árvore de Objetivos
- JIT- *Just In Time* – Processamento e movimentação de materiais consoante a necessidade
- NB – *Negative Branches* – Ramos de ressalva negativa
- NNVA - *Necessary but non-value adding* – Valor não acrescentado, mas necessário
- NVA - *Non-value adding* – Valor não acrescentado
- OEE – *Overall Equipment Effectiveness* – Eficiência Global dos Equipamentos
- OPT - *Optimized Production Technology* – Tecnologia otimizada de produção
- PT – *Prerequisite Tree* – Árvore de pré-requisitos
- S & T T – *Strategic and Tatic Tree* – Árvore Estratégica e Tática
- SMED – *Single Minute Exchange of Die* – Troca rápida de ferramentas
- T – *Throughput* - Receitas
- TT – *Transition Tree* – Árvore de Transição
- TLS – *TOC, Lean, Seis-sigma* - Teoria das Restrições, Lean e Seis Sigma
- TP – *Thinking Process* - Pensamento crítico
- TPM – *Total Productive Maintenance* – Manutenção Produtiva Total
- TPS – *Toyota Production System* – Produção Toyota
- VA - *Value adding* - Valor acrescido
- VSM – *Value Stream Mapping* – Mapeamento do fluxo de valor
- WIP – *Work In Process* – Produto em vias de fabrico

Índice

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO	1
1.1. Enquadramento do Estudo	1
1.2. Justificação do Tema.....	2
1.3. Objetivos do Estudo	2
1.4. Metodologia de Investigação	2
1.5. Estrutura da Dissertação.....	4
CAPÍTULO 2 SISTEMAS HÍBRIDOS	7
2.1. Breve Apresentação da Teoria das Restrições	7
2.1.1. Evolução Histórica.....	7
2.1.2. As Características Fundamentais	11
2.2. Modelos Integradores Lean, Six Sigma e Teoria das Restrições	25
2.2.1. Integração Lean e Six Sigma	25
2.2.2. Integração Lean e Teoria das Restrições.....	32
2.2.3. Integração Six Sigma e Teoria das Restrições	38
2.2.4. Integração Teoria das Restrições, Lean e Six Sigma	41
CAPÍTULO 3 PROPOSTA DE MODELO HÍBRIDO	57
3.1. Apresentação do Modelo.....	57
3.1.1. Recolha e Tratamento de Dados e Caracterização do Sistema (1ª Fase)	59
3.1.2. Identificação da Restrição (2ª Fase)	62
3.1.3. Exploração da Restrição (3ª Fase).....	62
3.1.4. Subordinação do Sistema (4ª Fase)	66
3.1.5. Reavaliação da Restrição e Elevação da Restrição (5ª Fase)	67
CAPÍTULO 4 INTRODUÇÃO AO CASO DE ESTUDO.....	69
4.1. Caracterização da Indústria Automóvel.....	69
4.1.1. A Indústria Automóvel no Mundo.....	69
4.1.2. A Indústria Automóvel em Portugal	70
4.2. Caracterização da Empresa – Visteon Corporation	71
4.3. Caracterização da Fabricação em Estudo	72

4.3.1. Caracterização da Fábrica e Produtos da Linha em Estudo	72
4.3.2. Caracterização dos Processos de Transformação das Placas PCB	75
CAPÍTULO 5 IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO TLS PROPOSTO	81
5.1. Recolha e Tratamento de Dados e Caracterização do Sistema (1ª Fase)	81
5.1.1. Obtenção dos Dados.....	81
5.1.2. Tratamento dos Dados Recolhidos.....	83
5.2. Identificação da Restrição (2ª Fase)	87
5.2.1. Criação do VSM e Análise do <i>Current State</i>	87
5.2.2. Análise da Capacidade do Sistema.....	88
5.2.3. Simulação da Linha em Estudo.....	91
5.3. Exploração da Restrição (3ª Fase).....	96
5.3.1. Fontes de Desperdício: Identificação e Caracterização.....	97
5.3.2. Fontes de Variabilidade: Identificação e Caracterização	100
5.3.3. Aplicação das Ferramentas <i>Lean</i> , <i>Six Sigma</i> e <i>Lean Six Sigma</i>	103
5.4. Subordinação do Sistema (4ª Fase)	124
5.5. Reavaliação da Restrição (5ª Fase)	126
5.5.1. Criação do Novo VSM.....	126
5.5.2. Nova Análise de Capacidade.....	127
5.5.3. Simulação da Linha.....	128
5.5.4. Identificação da Nova Restrição	128
5.6. Avaliação da Aplicação de SMED a um Sistema DBR	129
5.7. Análise de Resultados das Implementações.....	130
5.7.1. Modelo TLS	131
5.7.2. Melhorias no Restante Sistema (Lógica <i>Lean</i> e <i>Six Sigma</i>).....	132
CAPÍTULO 6 CONCLUSÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS	135
6.1. Conclusões Finais.....	135
6.2. Propostas de Trabalhos Futuros	136
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	139
ANEXOS A - MODELOS EM ESTUDO.....	151
ANEXOS B – PROCESSO EM ESTUDO.....	167

ANEXOS C – APLICAÇÃO DO MODELO	169
ANEXOS D – APLICAÇÃO DO MÉTODO SMED.....	194
ANEXOS E - VSM	233

Índice de Figuras

Figura 1.1 - Metodologia utilizada na dissertação	3
Figura 2.1 - Evolução cronológica da TOC	8
Figura 2.2 - Ferramentas do Thinking Process	12
Figura 2.3 - Ciclo das questões básicas da TOC-TP	13
Figura 2.4 - 5 Passos fundamentais da TOC	13
Figura 2.5 - Classificação de Restrições	14
Figura 2.6 - Questões básicas e ferramentas lógicas da TOC	17
Figura 2.7: <i>Buffers</i> e <i>rod buffers</i>	21
Figura 2.8: Divisão do <i>Buffer</i> nas três zonas	22
Figura 2.9: Sistema DBR esquematizado	23
Figura 2.10 - Objetivos Lean, Six Sigma e Lean Six Sigma	27
Figura 2.11 - Contribuição para a redução de custos	42
Figura 2.12 - Modelo de integração iTLS	45
Figura 2.13 - Modelo de Excelência 360 °	46
Figura 2.14 - Processo de implementação Modelo de Excelência 360 °	47
Figura 2.15 - <i>Roadmap</i> do modelo TOCLSS	47
Figura 2.16 - Modelo UIC	49
Figura 2.17 - Modelo 7 BG	49
Figura 2.18 - Modelo TLS - Silva	50
Figura 2.19 - Modelo de operacionalização do TLS – Silva	51
Figura 3.1 - Modelo híbrido proposto	58
Figura 3.2 - Metodologia para a análise de inputs	61
Figura 4.1 - Número de automóveis produzidos mundialmente (2016)	70
Figura 4.2 - Vista explodida de um inverter	73
Figura 4.3 - Vista explodida de NGI D 37 e NGI AJP	74
Figura 4.4 - Vista explodida de um upper display	74
Figura 4.5 - Passos do processo SMD	77

Figura 5.1 - Ecrã do forno antes da mudança	83
Figura 5.2 - Ecrã do forno após a mudança	83
Figura 5.3 - Tempos de Ciclo dos processos até à singulação e <i>takt time</i>	89
Figura 5.4 - Tempos de Ciclo dos processos após a singulação e <i>takt time</i>	90
Figura 5.5 – Visão geral do modelo de Simulação desenvolvido	91
Figura 5.6 - Gráfico para identificação de <i>warm-up period</i>	94
Figura 5.7 - <i>Future State</i> do VSM correspondente à restrição	97
Figura 5.8 - Diagrama esparguete do percurso inicial para alimentação de SMD 1.....	99
Figura 5.9 - Estudo de Rendimento Operacional e Perdas da linha de montagem	99
Figura 5.10 - Falhas ocorridas na máquina AX5-13 por componente	101
Figura 5.11 - Falhas ocorridas na AX5-13 no componente C0603F84	102
Figura 5.12 - Falhas ocorridas na AX5-13 no componente R0402F82	102
Figura 5.13 - Carris para carrinhos de máquinas SMD.....	105
Figura 5.14 - Percursos para recolha de <i>reels</i>	106
Figura 5.15: Espaçamento na junção entre as duas <i>reels</i>	106
Figura 5.16 - Desalinhamento entre DOIs <i>reels</i>	107
Figura 5.17 - <i>Splice Tool</i> a utilizar	107
Figura 5.18 - Metodologia de análise às falhas de <i>Pick e Align</i>	110
Figura 5.19 - Análise ao <i>Nozzle</i> em utilização.....	111
Figura 5.20 – <i>Nozzle</i> CPL3: Componentes 0603 (imagem em 3D).....	112
Figura 5.21 – <i>Nozzle</i> CPL3: Componentes 0603 (imagem em 2D sem tolerância).....	112
Figura 5.22 – <i>Nozzle</i> CPL3: Componentes 0603 (imagem em 3D com tolerância).....	113
Figura 5.23 – <i>Nozzles</i> : Componentes 0402 (imagem em 3D).....	114
Figura 5.24 – <i>Nozzles</i> : Componentes 0402 (imagem em 2D)	114
Figura 5.25 - <i>Nozzle</i> CPL2: Componentes 0402 (imagem em 2D)	115
Figura 5.26 - <i>Nozzle</i> CPL2: Componentes 0402 (imagem em 2D com tolerância).....	115
Figura 5.27 - Ecrã “ <i>adjust pick-up position</i> ”	116
Figura 5.28 - Componente 19-22-1 no <i>pocket</i> 14-9-2.....	116
Figura 5.29 - Componente 14-9-2 no <i>pocket</i> 19-22-1	117
Figura 5.30 - Ecrã relativo à limpeza do laser antes da limpeza.....	118

Figura 5.31 - Ecrã relativo à limpeza do laser após a limpeza.....	118
Figura 5.32 - Componentes no interior do <i>feeder</i> 19-22-1	119
Figura 5.33 - Plano detalhado de acordo com a Maximização do Lucro.....	125
Figura 5.34 - Tempos de Ciclo dos processos até à singulação e Takt Time atuais	127

Índice de Tabelas

Tabela 2.1 - 9 Regras de Otimização	8
Tabela 2.2 - Principais publicações e artigos científicos em TOC	9
Tabela 2.3 - Componentes do TOC	11
Tabela 2.4 - As camadas de resistência da TOC.....	16
Tabela 2.5 - Vantagens e Desvantagens das duas abordagens de construção da CRT	18
Tabela 2.6 - Forças e Fraquezas das metodologias Lean Six Sigma	28
Tabela 2.7 - Sinergias entre metodologia Lean e Six Sigma	28
Tabela 2.8 - Forças e Fraquezas das metodologias Lean e TOC	34
Tabela 2.9 - Forças e Fraquezas das metodologias TOC e Six Sigma.....	39
Tabela 2.10 - Sinergias entre metodologias	44
Tabela 2.11 - Os sete passos do Modelo iTLS.....	45
Tabela 2.12 - Casos reais de aplicação do modelo iTLS	52
Tabela 2.13 - Casos reais de aplicação do modelo de excelência 360º.....	53
Tabela 2.14 - Casos reais de aplicação do modelo TOCLSS.....	53
Tabela 2.15 - Caso real de aplicação do modelo UIC.....	53
Tabela 2.16 - Casos reais de aplicação do modelo TLS Silva	54
Tabela 2.17 - Caso real de aplicação do modelo TLS Silva (segunda aplicação)	54
Tabela 2.18 - Diferenças entre TOC e Lean Six Sigma.....	55
Tabela 3.1 - Modelo proposto (1ª Fase).....	59
Tabela 3.2 - Modelo proposto (2ª Fase).....	62
Tabela 3.3 - Modelo proposto (3ª Fase).....	63
Tabela 3.4 – Proposta de ferramentas por tipo de desperdícios.....	63
Tabela 3.5 - Proposta de ferramentas para a variabilidades.....	66
Tabela 3.6 - Modelo proposto (4ª Fase).....	66
Tabela 3.7 - Modelo proposto (5ª Fase).....	68
Tabela 4.1 - Modelos em produção e número de filhas por placa.....	75

Tabela 5.1 - Tempo médio observado para cada um dos modelos	84
Tabela 5.2 - Casos com p-value inferiores a 0,05	86
Tabela 5.3 - Aproximações de distribuições com p-value inferior a 0,05	87
Tabela 5.4 - Capacidade total e identificação da restrição.....	90
Tabela 5.5 - Cálculo de número de replicações	93
Tabela 5.6 - Validação do <i>Mix</i> de Produto	95
Tabela 5.7 - Validação da quantidade produzida.....	96
Tabela 5.8 - Ferramentas para cada tipo de desperdício identificado.....	97
Tabela 5.9 - Caracterização das atividades de <i>Changeover</i> da restrição	104
Tabela 5.10 - Gráfico de fluxo de processos atual	107
Tabela 5.11 - Gráfico de fluxo de processos proposto.....	108
Tabela 5.12 - <i>Nozzles</i> recomendados por dimensão do componente	109
Tabela 5.13 - <i>Tolerance Stack-up</i> 0402 CPL2.....	120
Tabela 5.14 - <i>Tolerance Stack-up</i> 0603 CPL3.....	120
Tabela 5.15 - <i>Tolerance Stack-up</i> 0402 CPL2 (após alteração de tolerância do <i>feeder</i>)	121
Tabela 5.16 - <i>Tolerance Stack-up</i> 0603 CPL3 (após alteração de tolerância do <i>feeder</i>)	121
Tabela 5.17 - Análise de resultados após a exploração e subordinação.....	126
Tabela 5.18 - Nova Capacidade da linha	128
Tabela 5.19 - SMED nas estações que subordinam a restrição	129
Tabela 5.20 - DBR e DBR / SMED (Análise comparativa)	130
Tabela 5.21 - Comparação de tempos de <i>changeover</i>	131
Tabela 5.22 - Comparação de resultados (TLS vs LSS)	132

Capítulo 1 Introdução

A presente dissertação relata o projeto realizado no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial, da Faculdade de Ciências e Tecnologias – Universidade Nova de Lisboa, desenvolvida na Visteon Portuguesa Lda.

Este capítulo introdutório será iniciado com um enquadramento da dissertação e com a justificação do tema, após o que serão apresentados os objetivos a atingir, bem como a metodologia de investigação seguida para a realização da mesma. Por fim será descrita a estrutura do conteúdo da dissertação.

1.1. Enquadramento do Estudo

Assiste-se atualmente a uma constante evolução tecnológica, que tem vindo a tornar o mercado cada vez mais competitivo, onde as indústrias são mais dinâmicas e competem entre si de modo a melhor satisfazer o Cliente. Também o Cliente se modificou e se tornou mais exigente, procurando produtos de elevada variedade, muitas vezes customizados, com excelentes padrões de qualidade e a um baixo custo.

É neste enquadramento que surge um novo paradigma de produção, com sistemas produtivos mais flexíveis e capazes de produzir, alternada ou simultaneamente, modelos distintos. Este estudo incidirá numa linha de montagem multimodelo, que se caracteriza por ser capaz de produzir diferentes produtos de diferentes modelos com recurso a alterações de *setup* na linha.

Por outro lado, a indústria automóvel procura cada vez mais ser capaz de satisfazer os seus Clientes de uma forma cada vez mais eficiente, através da redução de desperdícios produtivos e custos operacionais, bem como da adoção de melhorias nos seus processos produtivos.

A redução de desperdícios produtivos e de custos operacionais está relacionada com a filosofia *Lean Seis Sigma* (LSS). Sendo que o *Lean* diz respeito à melhoria contínua da produtividade através da redução de atividades sem valor acrescentado, do ponto de vista do Cliente. Já o *Seis Sigma* tem como objetivo reduzir o número de produtos não conformes e minimizar a variabilidade do processo.

Para além disto, a fim de melhorar o processo produtivo seguiu-se a ótica de Goldratt (Goldratt & Cox, 1984; Goldratt & Fox, 1986), em que se assume que nenhum processo é totalmente eficiente, sendo sempre limitado por um conjunto de restrições que dificultam o alcance de objetivos, mas que poderão determinar o seu sucesso. Esta ótica é a base para a Teoria das Restrições que será explicitada e aplicada no presente estudo.

1.2. Justificação do Tema

Esta dissertação teve por base o projeto, proposto pela empresa Visteon Portuguesa Lda, que consistia na melhoria do sistema produtivo de uma das linhas de montagem da fábrica. Trata-se de uma linha multimodelo, capaz de produzir diferentes produtos e distintos modelos, exigindo flexibilidade e elevada produtividade.

Para melhorar a produtividade da linha foi essencial identificar as restrições a que estava sujeita, bem como aplicar metodologias que permitissem a redução de desperdícios produtivos, e ainda a redução da sua variabilidade. Para isto ser possível, aplicou-se um modelo híbrido TLS – Teoria das Restrições, *Lean* e *Seis Sigma* que, segundo inúmeros estudos, apresenta vantagens no que diz respeito aos custos de um processo, quando comparado com outras metodologias.

1.3. Objetivos do Estudo

O principal objetivo do estudo é o de avaliar a contribuição da aplicação do sistema TLS desenvolvido que, através da identificação da restrição da linha e da sua exploração e subordinação tem o propósito de tornar a linha em estudo mais eficiente. Para além deste objetivo, pretende-se ainda avaliar os impactos na linha de produção pela aplicação de uma análise SMED.

Para a concretização destes objetivos, algumas metas terão que ser atingidas ao longo deste estudo, nomeadamente, o entendimento das características e da capacidade produtiva atual da linha, o desenvolvimento de um modelo de simulação que seja uma representação fiel do comportamento da linha, e pré-estudo estatístico dos dados utilizados como *input* ao modelo.

1.4. Metodologia de Investigação

Para o desenvolvimento do presente estudo, utilizar-se-á a metodologia apresentada no esquema da figura 1.1.

Esta metodologia está dividida em 6 partes: a definição de objetivos, a revisão bibliográfica, o diagnóstico do caso de estudo, o desenvolvimento do modelo híbrido TLS que será aplicado, a aplicação do modelo ao caso de estudo e, por fim, a análise de resultados e apresentação das principais conclusões.

Assim, serão em seguida apresentados os procedimentos detalhados, que constituem cada etapa da metodologia adotada.

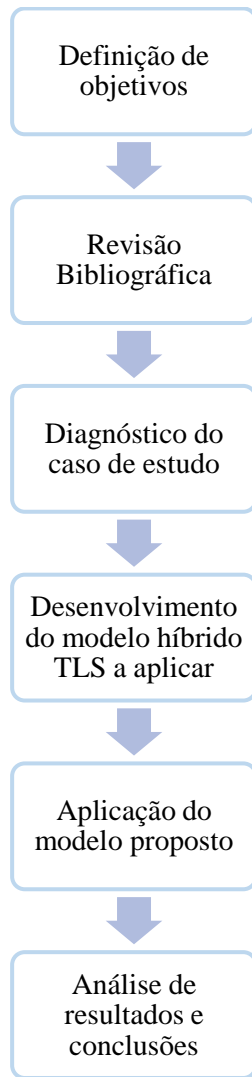


Figura 1.1 - Metodologia utilizada na dissertação

Apresentam-se em seguida os procedimentos detalhados de cada etapa:

1. **Definição de objetivos:** esta fase foi já apresentada no capítulo 1.3. Objetivos do estudo.
2. **Revisão bibliográfica:** nesta primeira fase será realizado um breve estudo do estado da arte relativo aos conceitos de Melhoria Contínua de processos produtivos com foco nos sistemas *Lean*, *Seis Sigma* e na Teoria das Restrições. No entanto, o principal foco da revisão bibliográfica é a apresentação, análise e estudo dos sistemas de integração parciais e totais TL (Teoria das Restrições e *Lean*), TS (Teoria das Restrições e *Seis Sigma*) e TLS (Teoria das Restrições, *Lean* e *Seis Sigma*) propostos, discutindo resultados e áreas de aplicação.
3. **Diagnóstico do caso de estudo:** nesta fase será identificada a empresa e descrita a indústria em estudo, sendo ainda apresentada uma definição do sistema produtivo através de uma completa caracterização do fluxo produtivo, dos processos da linha, e dos produtos em produção.

4. **Desenvolvimento do modelo híbrido TLS a aplicar:** com as filosofias *Lean*, *Seis Sigma* e da Teoria das Restrições, e com a linha de produção completamente estudada e caracterizada, será possível conceber um modelo híbrido que dê resposta aos objetivos definidos para a dissertação.
5. **Aplicação do modelo proposto:** esta fase passará, em primeiro lugar, pela recolha e análise de dados, pelo que será essencial entender os sistemas de informação atualmente utilizados pela empresa para a recolha de dados de produção e seleciona um *software* estatístico para a análise dos dados. Durante a aplicação do modelo TLS recorre-se ainda a um *software* de simulação.
6. **Análise de resultados e conclusões:** durante esta fase será realizada uma comparação do cenário inicial com o cenário melhorado, após a aplicação das melhorias propostas nas fases de exploração da restrição e subordinação do sistema, será realizada via simulação. Por fim, são apresentadas as principais conclusões do estudo, através da análise de resultados conseguida via simulação.

1.5. Estrutura da Dissertação

A presente dissertação encontra-se estruturada em sete capítulos.

O presente capítulo corresponde ao primeiro da dissertação, intitulado de **1. Introdução**, é responsável pelo enquadramento e justificação do tema, pela definição de objetivos e pela conceção da metodologia que permitirá atingir os mesmos.

O capítulo **2. Modelos de Melhoria Contínua** tem como objetivo fazer uma introdução teórica das metodologias a aplicar no modelo híbrido proposto (*Lean*, *Seis Sigma* e Teoria das Restrições), bem como enunciar os atuais modelos híbridos propostos, assim como os seus principais resultados e áreas de aplicação.

Relativamente ao capítulo **3. Proposta do modelo híbrido**, propõe-se um modelo capaz de aliar as três metodologias já referidas anteriormente, através da aplicação de algumas ferramentas *Lean* e *Seis Sigma*, aos 5 passos da Teoria das Restrições.

No que diz respeito ao capítulo **4. Introdução ao caso de estudo**, é feita uma descrição da indústria em causa (Indústria Automóvel) no mundo e, especificamente, em Portugal. É ainda apresentada a empresa na qual foi realizado o estudo e, por fim, é feita a caracterização da linha em estudo, através da descrição dos processos produtivos e dos produtos transformados na linha.

O capítulo **5. Implementação do modelo** este capítulo divide-se em três fases. A primeira fase diz respeito à análise de dados recolhidos, através de um *software*, que permitirá concluir se as amostras podem ou não ser consideradas da mesma população e avaliar a variabilidade presente

no sistema. A segunda fase relata o desenvolvimento do modelo de simulação. A terceira fase descreve a implementação do modelo híbrido proposto.

O capítulo **6. Discussão de Resultados** avalia as melhorias propostas e compara a situação inicial com a final, via simulação.

No capítulo **7. Conclusões** são apresentadas as principais conclusões do estudo realizado.

Capítulo 2 Sistemas Híbridos

O presente capítulo destina-se a introduzir os fundamentos teóricos que serviram de suporte ao estudo realizado. Assim, e uma vez que o âmbito da dissertação é o desenvolvimento e posterior aplicação de um modelo de integração TLS, o capítulo inicia-se com uma apresentação sucinta da Teoria das Restrições (TOC – *Theory of Constraints*), já que o modelo desenhado se baseia nos cinco passos da TOC e por esta ser a menos desenvolvida e conhecida pela comunidade científica.

No entanto, o grande enfoque do estudo será a apresentação dos principais modelos de integração, parciais e totais TLS (conhecidos por sistemas híbridos), analisando-os e comparando-os, retirando conclusões relativas às suas vantagens e desvantagens.

2.1. Breve Apresentação da Teoria das Restrições

A Teoria das Restrições tem por base a ideia de que qualquer processo possui uma restrição que o limita, mas que ao mesmo tempo poderá determinar o seu sucesso caso seja resolvida. Nos próximos subcapítulos será apresentada a evolução da Teoria e apresentação das suas características e ferramentas.

2.1.1. Evolução Histórica

A Teoria das Restrições, ou Teoria dos Constrangimentos ou ainda *Theory of Constraints* (TOC), é uma filosofia de melhoria contínua, desenvolvida por Dr. Eliyahu Goldratt, que assume que nenhuma Organização é totalmente eficiente, sendo sempre limitada por um conjunto de restrições que dificultam o alcance dos objetivos definidos pela empresa, mas que, por outro lado, determinam o seu sucesso (Goldratt & Cox, 1984; Goldratt & Fox, 1986).

Segundo alguns autores, a fim de entender a evolução do conceito TOC, a teoria deve ser dividida em cinco fases da sua evolução, tal como se sugere na figura 2.1. A Era da tecnologia de otimização da produção com a criação das nove regras de otimização, a Era do “*The Goal*” com a articulação do planeamento DBR, a Era do Síndrome de *Haystack* quando foram definidas as medidas de desempenho da TOC, A Era do “*It’s Not Luck*” com o início da aplicação do Thinking Process em vários sectores e a Era do *Critical Chain* com as primeiras aplicações da TOC à gestão de projectos (Balakrishnan, 2008; Silva, 2015; Şimşit, Günay, & Vayvay, 2014; Watson, Blackstone, & Gardiner, 2007).

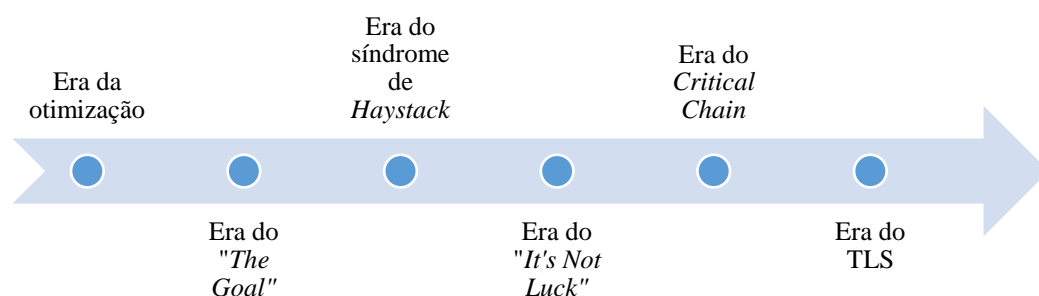


Figura 2.1 - Evolução cronológica da TOC [Adaptado de Furtado (2017), p.6]

1. A Era da tecnologia de otimização da produção – criação das 9 regras de otimização;
2. A Era do “*The Goal*” – articulação do planeamento DBR (*Drum-Buffer-Rope*);
3. A Era do Síndrome de *Haystack* – definição de medidas de desempenho para a TOC;
4. A Era do “*It’s Not Luck*” – aplicação do *Thinking Process* em vários setores;
5. A Era do *Critical Chain* – Aplicação do TOC a gestão de projetos.

A primeira fase ocorreu entre 1979 a 1984 com a proposta de um *software* de planeamento de produção (OPT – *Optimized Production Technology*) que tinha como objetivo otimizar os recursos com base na identificação de restrições (ou, segundo Goldratt, “*Bottlenecks*” e em português “Gargalos”), segundo as 9 regras de otimização apresentadas no esquema da tabela 2.1.

Tabela 2.1 - 9 Regras de Otimização [Adaptado de Silva (2015), p.9 e Balakrishnan (2008), p.5]

9 Regras de Otimização	
1	Balancear o Fluxo e não a Capacidade (através do sistema <i>Drum-Buffer-Rope system</i>).
2	O nível de utilização de um recurso não-gargalo é determinado por alguma restrição dentro do sistema.
3	Utilização e ativação de recursos não são sinónimos já que a utilização de uma máquina sem gargalo na sua capacidade irá produzir inventários desnecessários.
4	Qualquer perda no gargalo, traduzir-se-á numa perda em todo o sistema.
5	As tentativas de ganho devem ser focadas no gargalo, “Uma hora ganha num processo não gargalo é apenas uma miragem”.
6	Os gargalos controlam tanto o <i>throughput</i> (quantidade de output que um sistema pode realizar por unidade de tempo) como o <i>inventory</i> (a existência de stocks de produto em curso de fabrico).
7	Um lote de transferência não precisa, e muitas vezes não pode ser igual ao lote do processo. Por exemplo, se um lote contiver 100 unidades, pode ser útil transferir lotes parciais para acelerar o rendimento ou para manter o <i>buffer</i> .
8	E, seguindo o raciocínio do ponto 7, o lote do processo deve ser variável e não fixo.
9	Deve ser estabelecido o planeamento da produção através da análise de todas as restrições em simultâneo. Os <i>Lead Time</i> são resultantes do planeamento e não podem ser predeterminados.

No entanto este *software* trouxe alguns problemas e, após investigar as falhas, Goldratt concluiu que a metodologia OPT não teria sido bem compreendida, tendo publicado, juntamente com J. Cox, em 1984 o livro “*The Goal*” (Lucas, 2014; Balakrishnan, 2008). Este livro afirma que a implementação da filosofia TOC garante o alcance do principal objetivo de uma organização “*make money*”, ou em português, “fazer dinheiro” (Goldratt & Cox, 1984). Esta obra descreve várias técnicas e heurísticas da TOC, nomeadamente, Os Cinco Passos Fundamentais - *Five Focusing Steps* (5FS) e uma metodologia de agendamento baseada no *drum-buffer-rope* (DBR).

Depois da publicação de “*The Goal*”, foram surgindo outras técnicas e teorias explicadas em *The Race* (Goldratt e Fox, 1986), e a análise de causa e efeito que são usadas no processo TOC de melhoria contínua.

Com a evolução da teoria, a TOC expandiu-se a diversas áreas. Gaspar, M. (2019) realizou um levantamento bibliográfico relativo à evolução dos trabalhos de investigação desenvolvidos na temática da Teoria das Restrições, tendo também ela contribuído com um dos artigos científicos, concretamente relacionado com uma temática ainda muito pouco explorada, nomeadamente, TOC na área de Gestão de Projetos Lean.

Outro recente levantamento bibliográfico relativo a este tema é o de Fernando Bernardi de Souza, et al. (2019) que faz referência não só à evolução da Teoria mas também a casos de sucesso e novas áreas de aplicação. Assim, com a contribuição destes recentes estudos é possível sintetizar as principais obras e temáticas abordadas ao longo do tempo, na tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Principais publicações e artigos científicos em TOC
[Adaptado de Gaspar, M. (2019), p.15-17 e Souza, F. et al. (2019), p. 5069-5075]

Temática abordada	Publicações
História e Evolução da TOC	Rahman (1998); McMullen (1998); Souza (2005); Scheinkopf (1999); Rahman (1998); Balderstone & Mabin (1999); Blackstone (2001); Watson, Blackstone and Gardiner (2007); Gupta & Boyd (2008); Gaspar, M. et al. (2019); Lucas and Tenera (2014); Paz (2015); Balakrishnan (2008); Silva and Tenera (2015); Furtado (2017); Martins Ikeziri, Fernando Bernardi de Souza, Mahesh C. Gupta & Paula de Camargo Fiorini (2019).
Categorização de conceitos e termos da TOC	Cox and Spencer (1998); Cox and Spencer (1995); Dettmer (1997); Ronen & Starr (1990); Fawcett & Pearson (1991); Scheinkopf (1999); Dettmer (2007); Goldratt-Ashlag (2010); Goldratt (2004); Goldratt (2010) Cox et al. (2012); Lucas and Tenera (2014); Paz (2015); Silva and Tenera (2015); Furtado (2017); Gaspar, M. et al. (2019).

Tabela 2.2 - Principais publicações e artigos científicos em TOC

[Adaptado de Gaspar, M. (2019), p.15-17 e Souza, F. et al. (2019), p. 5069-5075] (continuação)

Temática abordada	Publicações
Referência a aplicações com sucesso	Noreen (1995); Kendall (1998); Mabin & Balderstone (2003); M. Umble, E. Umble & S. Murakami (2006); C. V. Chaudhari & S. K. Mukhopadhyay (2003); Kim et al (2008); Watson, Blackstone e Gardiner (2007).
Referência a artigos científicos publicados	Mabin e Balderstone (1999); Rahman (1998); Balderstone & Mabin (1998); Gaspar, M. et al. (2019); Martins Ikeziri, Fernando Bernardi de Souza, Mahesh C. Gupta & Paula de Camargo Fiorini (2019).
Comparação entre as várias metodologias científicas de gestão e investigação operacional	Davies et al. (2005).
TOC nas áreas Gestão da Cadeia de Abastecimento, Planeamento de recursos empresariais, vendas e marketing e gestão de recursos humanos	Blackstone (2001); Cooper and Loe (2000).
TOC na área de planeamento estratégico	Rahman (2002); Gupta et al. (2004); Coman (2008); Gupta & Boyd (2008); Coman and Ronen (2009);
TOC na área do <i>design</i> do produto	Hua, Coulibaly, and Wang (2006); Liu, Tan, and Yao (2008); Costa et al. (2013).
TOC na área de Gestão de Projetos	Goldratt (1997); Leach (1999); Umble & Umble (2000); Steyn (2001); Cohen et al. (2004); Tenera (2006); Trojanowska, J. et al. (2017).
TOC na área de Gestão de Projetos <i>Lean</i>	Gaspar, M. (2019); Gaspar et al. (2019).
TOC na área do Retalho	Gardiner (1993); Goldratt (1994).
TOC na área de Gestão da Cadeia de Abastecimento	Rahman (2002); Watson & Polito (2003); Simatupang et al. (2004); Pacheco et al. (2016).
TOC na área de Melhoria de Processos	Schragenheim & Ronen (1991); Atwater Chakravorty (1995); Gattiker & Boyd (1999).
TOC em Ambientes de Produção	Jacobs (1983); Koziol (1988); Lambrecht & Segart (1990); Raban & Nagel (1991); Lucas and Tenera (2014); Paz (2015); Silva and Tenera (2015); Furtado (2017); Razali, M. et al. (2016); Panizzolo, R. (2016)
TOC em Ambientes logísticos	Pacheco et al. (2016).
TOC em Gestão e Gestão de Operações	Cohen (2010); Banerjee and Mukhopadhyay (2016); Ghorbani et al. (2014); Librelato et al. (2014); González, Gonçalves, and Vasconcelos (2017); Lowalekar and Ravi (2017).
TOC na área de Healthcare	Hunink (2001); Breen, Burton-Houle, and Aron (2002); Taylor and Sheffield (2002); Patwardhan, Sarria-Santamera, and Matchar (2006); Umble and Umble (2006); Cattaneo and Bassani (2016); Sommer and Mabin 2016; de Souza, Souza, and Vaccaro (2016); Groop et al. (2017).

Tabela 2.2 - Principais publicações e artigos científicos em TOC

[Adaptado de Gaspar, M. (2019), p.15-17; Souza, F. et al. (2019), p.5069-5075] (continuação)

Temática abordada	Publicações
TOC na área de Recursos Humanos	Taylor, Murphy, and Price (2006); Taylor and Poyner (2008); Gupta, Boyd, and Kuzmits (2011); Iranmanesh, Siti-Nabiha, and Sabbah (2012).
TOC na área da Educação	Cheng (2010); Suerken (2010).

2.1.2. As Características Fundamentais

Para um melhor entendimento da Teoria, Tenera (2006) sintetiza as várias componentes da TOC, tal como se apresenta na Tabela 2.3. A Teoria será abordada segundo esta lógica.

Tabela 2.3 - Componentes do TOC [Adaptado de Tenera (2006), p.90]

	Componente Prescritiva	Componente Reflexiva
Componente Estratégica	Conceitos e Princípios	Análise e Resolução de Problemas
	Princípios Conceptuais Prescrições <ul style="list-style-type: none"> As três Questões Básicas Os Cinco Passos Fundamentais Os seis níveis de Resistência	Ferramentas Lógicas: <ul style="list-style-type: none"> Árvore da realidade atual (CRT) Diagrama de resolução de conflitos (CRD) Árvore de realidade futura (FRT) Árvore de pré-requisitos (PRT) Árvore de transição (TT) Princípios de Validação <ul style="list-style-type: none"> Categorias de Reserva Legítimas (CLR)
Componente Operacional	Aplicações Lógicas Específicas	Medidas de Avaliação de Desempenho
	<i>Drum-Buffer-Rope system</i> (DBR) Cadeia Crítica (CC) Gestão de Reservas (BM) Análise (VAT)	Receitas (T) Investimento (I) Despesas Operacionais (OE)

Analisando agora a tabela 2.3., é possível dividir a tabela em quatro quadrantes: “Conceitos e Princípios”, “Análise e Resolução de Problemas”, “Aplicações lógicas específicas” e “Medidas de Avaliação de Desempenho” que serão de seguida explicitados.

2.1.2.1. Conceitos e princípios

Relacionando a componente prescritiva com a estratégica surge o quadrante dos conceitos e princípios relacionados com a TOC, bem como as prescrições necessárias à sua abordagem, isto é, os seus princípios conceptuais, as três questões básicas e os cinco passos fundamentais que serão futuramente apresentados.

- Princípios Conceptuais

Esta é uma teoria que se rege por certos princípios que em suma referem que qualquer Sistema possui uma ligação mais fraca, conhecida pela Restrição, caso contrario, funcionariam

sempre na sua máxima capacidade. Este elemento restritivo deverá ser trabalhado de forma sistemática, sucessiva e continuada, e não de forma analítica, de modo a melhorar o desempenho do sistema em estudo (Gaspar, 2019).

Como referido, a teoria assume como principal objetivo de uma empresa “fazer dinheiro”. Para tal, é necessário identificar a restrição, ou constrangimento, ou ainda estrangulamento, definido pelo autor, em *The Goal* como “*Anything that limits the performance of a system relative to its goal*” (Goldratt & Cox, 1984), isto é, aquilo que limita o desempenho do sistema e que dificulta o alcance do objetivo da empresa.

No entanto, a existência de restrições representa uma oportunidade de melhoria, já que através da sua elevação gradual, é possível melhorar o desempenho do sistema total (Gupta, Bhardwaj, & Kanda, 2010).

- As três questões básicas

Segundo o estudo de Rahman (1998), a Teoria das Restrições deve ser abordada segundo DOIs conceitos principais. O primeiro diz respeito ao princípio fundamental da TOC relativo às 5 Etapas para a implementação da teoria (que serão posteriormente abordadas neste estudo), e que inclui também o sistema DBR – *Drum-Buffer-Rope*. A segunda parte da implementação refere-se à abordagem *Thinking Process* (TP).

O *Thinking Process* é uma ferramenta lógica que passa pela resposta às três questões básicas do Processo de Reflexão:

1. O que mudar?
2. Mudar para quê?
3. Como mudar?

A fim de dar resposta a estas três questões são propostas 5 ferramentas, tal como representado no esquema da figura 2.2.

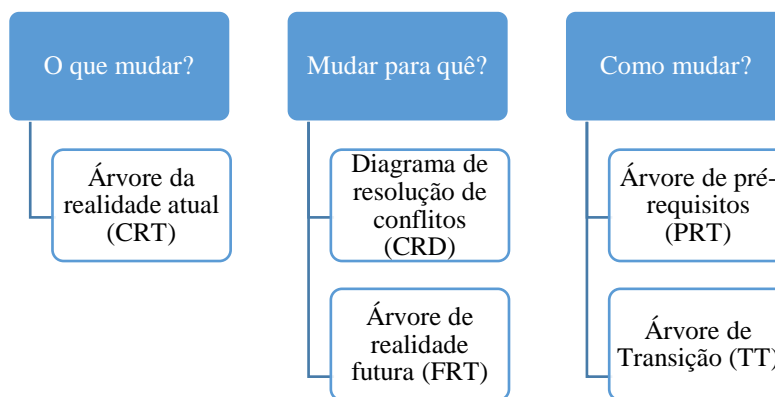


Figura 2.2 - Ferramentas do Thinking Process

[Adaptado de Tenera (2006), p.94 e Kasemset (2011), p.328]

Nos últimos anos, foram adicionadas duas novas questões às três originais: “Porquê mudar” e “Como medir a mudança e atingir o POOGI – *Process of Ongoing Improvement*” (Cox, Boyd, Sullivan, Reid & Cartier, 2012). A adição destas duas questões permitiu a criação de um ciclo de melhoria contínua, proposta por Dettmer (2007), representado na figura 2.3.



Figura 2.3 - Ciclo das questões básicas da TOC-TP [Fonte: Gaspar (2019), p.21]

- Os cinco passos fundamentais

Relativamente ao princípio fundamental da TOC, Goldratt sugere os 5 passos fundamentais para a implementação da TOC como explicitado no esquema da figura 2.4. Estes 5 passos fundamentais serão, em seguida, devidamente explicitados:

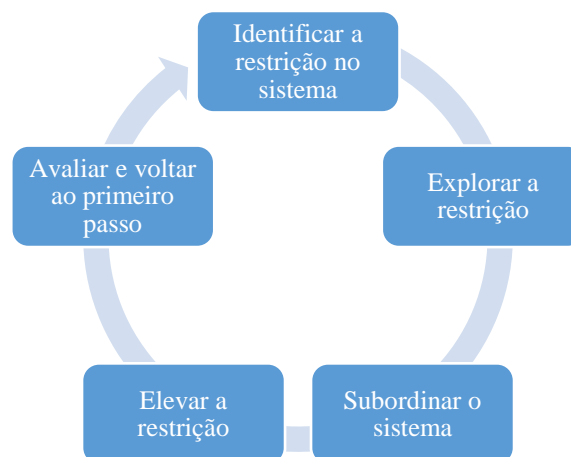


Figura 2.4 - 5 Passos fundamentais da TOC

1. Identificar a Restrição do Sistema

Como já foi referido, toda a Teoria se baseia na existência de uma restrição, que limita todo o sistema, e que, quando elevada, aumenta a *performance* do sistema. Torna-se então essencial este primeiro passo de identificação da Restrição, respondendo à questão fundamental “O que

mudar”. A fim de identificar a restrição é fundamental compreender o sistema, identificando os processos a ele inerentes e analisando-os.

Segundo os estudos de Pegels et al. (2005) e Taj et al. (2006), o fluxo de produção deverá ser utilizado como indicador de forma a identificar a restrição. Por outro lado, Wu et al. (2006) afirma que devem ser comparadas as capacidades efetivas dos equipamentos com as esperadas. Já Lucas (2014) afirma que caso se trate de uma restrição física, começa-se por determinar a procura total sobre os produtos da organização e o tempo disponível para produção de cada recurso. Se o tempo disponível para produção de um determinado recurso é igual ou menor que a procura, esse recurso é a restrição do sistema (C. Carl Pegels & Craig Watrous, 2005; Lucas, 2014; Taj, L. & Berro, 2006; H. H. Wu & Yeh, 2006).

De referir ainda que, segundo alguns estudos, as restrições devem ser classificadas, de acordo com a sua origem, de modo a serem geridas da melhor forma. Assim, enquanto que Goldratt e Fox (1986), Cox e Goldratt (1984), Scheinkopf (1999) e McMullen (1998) defendem que as restrições devem ser classificadas como Físicas e Não Físicas (ou políticas), outros autores como Watson *et al* (2007) e Roldão e Ribeiro (2007) tornaram a classificação das restrições mais pormenorizada, adicionando a Restrição Humana (por Roldão e Ribeiro) e Watson acrescentou a restrição do Mercado. Por fim, Lucas (2014), sintetizou a classificação das restrições segundo o esquema da figura 2.5.

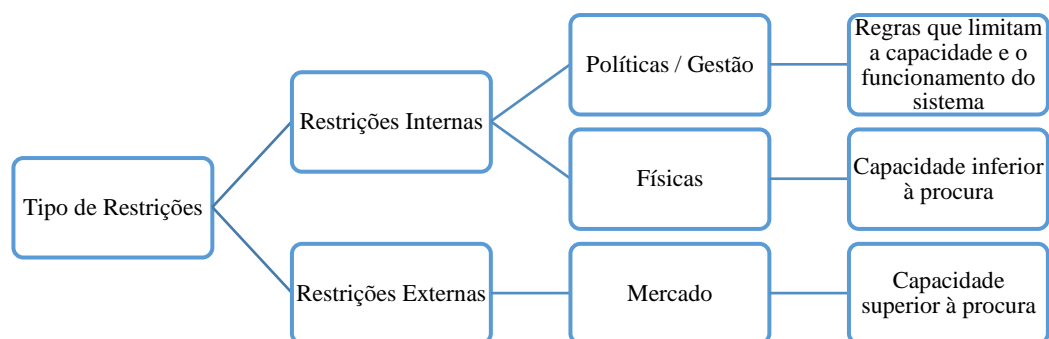


Figura 2.5 - Classificação de Restrições [Adaptado de Lucas (2014), p.7]

Esta dissertação incidirá no estudo de Restrições Internas Físicas, que dizem respeito aos equipamentos, materiais e recursos que afetam diretamente a capacidade do sistema, isto é, a quantidade de *output* que um sistema pode realizar por unidade de tempo (Roldão & Ribeiro, 2007).

2. Explorar a restrição

Identificado o estrangulamento, importa agora explorar a restrição, isto é, maximizar a eficiência da restrição através de métodos, técnicas e ferramentas, dando resposta à segunda pergunta fundamental do TP: “Mudar para quê?”. No caso de a restrição ser física, o aumento da

eficiência poderá ser conseguido por uma diferente alocação de recursos, ou diminuindo a carga que passa na restrição, encontrando processos idênticos, mesmo menos eficientes, que também possam receber as peças, ou eliminando tempos de desperdício ou recorrendo ao *outsourcing* (Lucas, 2014).

Ao contrário da TOC, os métodos tradicionais defendiam que após a identificação de uma restrição esta seria resolvida através de investimento monetário e não através da sua exploração (Lucas, 2014).

3. Subordinar o Sistema às decisões efetuadas

Explorada a restrição será agora necessário sincronizar com os restantes processos não-gargalo uma vez que, para que exista um aumento de desempenho do processo, a restrição deverá receber suporte por parte das entidades não-gargalo. Para este terceiro passo, muitas vezes utiliza-se o sistema DBR – *Drum-Buffer-Rope*.

4. Elevar a Restrição

Caso se verifique que, após a exploração da restrição e a subordinação ao restante sistema, a restrição não foi eliminada, será necessária uma intervenção a um nível superior da organização, nomeadamente, recorrendo a horas extraordinárias, investimento em novos equipamentos, criação de um novo turno ou contratação de mão-de-obra adicional e, por vezes, poder-se-á alterar o processo completamente (Silva, 2015).

5. Avaliação e repetição do processo

No sentido da melhoria contínua do processo em causa, eliminada a restrição identificada no passo 1, a organização deverá procurar identificar uma nova restrição no sistema, explorá-la e eliminá-la, seguindo um ciclo de melhoria contínua em que o último passo é o de voltar ao passo inicial.

- Os seis níveis de resistência

Assim que é reconhecida a necessidade de mudança, e, por sua vez, a colaboração e permissão de outras entidades, surge alguma resistência à mudança, muitas vezes justificada pelo tempo e esforço que esta poderá exigir ou pela falta de certeza que estes esforços poderão não ser recompensados.

É neste sentido que já na obra “*My Saga to Improve Production*” (Goldratt, 1996), o termo “Camadas de Resistência” surge. É neste sentido que Goldratt-Ashlag (2010) defende três camadas básicas até o *buy-in* ser atingido, nomeadamente:

1. Desacordo no problema;
2. Desacordo na solução;

3. Desacordo na implementação

Segundo os mesmos autores, as camadas de resistência podem tornar-se ainda mais finas, surgindo das três camadas básicas, seis camadas à resistência, nomeadamente:

- Desacordo com o problema;
- Desacordo na direção da solução;
- Desacordo na capacidade da solução para resolver o problema;
- Sim, mas há potenciais consequências negativas;
- Sim, mas há obstáculos para implementar a solução;
- Medos não verbalizados.

Com as últimas contribuições de Foster (2001) e Mabin & Davies (2010), existem nove camadas de resistência que podem ser agrupadas em quatro grupos, tal como representado na tabela 2.4.

Tabela 2.4 - As camadas de resistência da TOC [Adaptado de Goldratt-Ashlag (2010), p.578]

Grupo	Camada	Descrição
Problema	Camada 0	“Não existe problema”
	Camada 1	“Desacordo no problema”
	Camada 2	“O problema está fora do meu controlo”
Solução	Camada 3	“Desacordo na direção para a solução”
	Camada 4	“Desacordo nos detalhes da solução”
	Camada 5	“Sim, mas a solução tem ramificações negativas”
Implementação	Camada 6	“Sim, mas não podemos implementar a solução”
	Camada 7	“Desacordo nos detalhes da implementação”
	Camada 8	“Tu sabes que a solução acarreta riscos”
Barreiras sociais e psicológicas	Camada 9	“Não me parece”

2.1.2.2. Análise e resolução de problemas

O Thinking Process terá sido proposto por Goldratt no sentido de aplicar o método científico à resolução de problemas empresariais, através de uma percepção gráfica das relações lógicas num Sistema e um modo simples para identificar, analisar, compreender e comunicar problemas e desenvolver soluções segundo uma lógica Causa-efeito (Cox III & Robinson, 2017; Gaspar, 2019). Assim, ao longo dos anos têm sido desenvolvidas sete ferramentas essenciais: *Goal tree* (GT), *Current Reality Tree* (CRT), *Conflict Resolution Diagram* (CRD) ou *Evaporating Cloud* (EC), *Future Reality Tree* (FRT), *Prerequisite Tree* (PT), *Transition Tree* (TT) e *S&T Tree*.

O TP utiliza as ferramentas lógicas referidas que respondem às 3 questões básicas. Scheinkopf (2010) sugere uma relação entre as ferramentas, os resultados obtidos na sua aplicação e a forma como cada uma delas contribui para a resposta às perguntas: “O que mudar?”, “Para o que mudar?” e “Como causar a mudança?”. Já Kim et al. (2008) propõe um *framework* para que as ferramentas sejam aplicadas de forma integrada e sequenciada. Este terá sido atualizado por Gaspar (2019), de acordo com as evoluções existentes, disponível na figura 2.6.

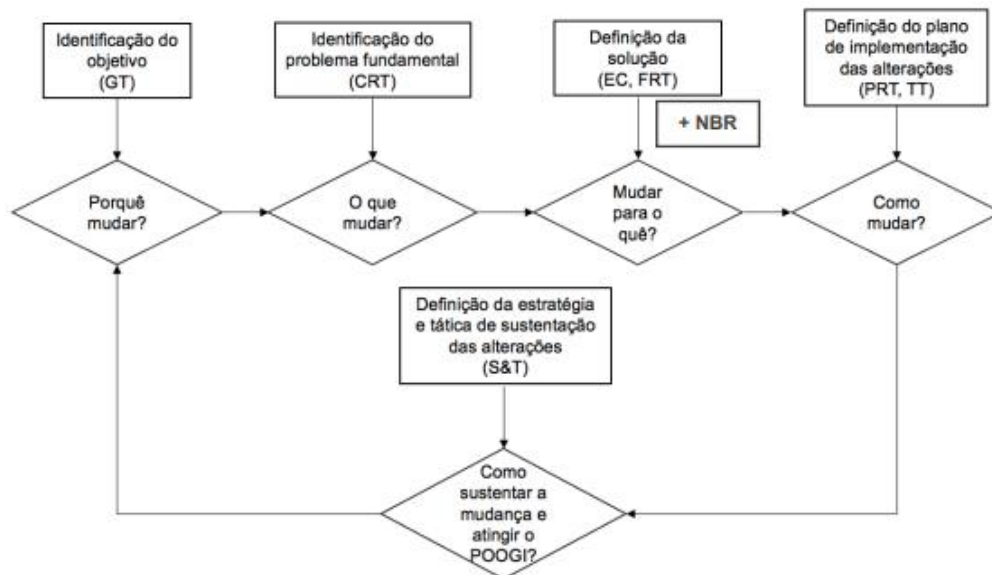


Figura 2.6 - Questões básicas e ferramentas lógicas da TOC [Fonte: Gaspar (2019), p.28]

Deste modo, serão em seguida apresentadas de forma breve cada uma das ferramentas mencionadas.

- Goal Tree (GT) – Árvore de Objetivos: é o mapa visual do objetivo principal do sistema, que identifica os Efeitos Indesejáveis (UDE) pela realização de perguntas como “o que nos impede de alcançar os Fatores Críticos de Sucesso (FCS)?”. Estes efeitos indesejáveis serão utilizados na construção da próxima árvore (Gaspar, 2019). Dettmer (2007), defende que, embora uma *Goal Tree* seja exclusiva de cada sistema, existem características básicas comuns a todas elas, nomeadamente, o objetivo do Sistema no Topo, a existência de um número limitado de FCS e de condições necessárias e que esta árvore deverá ser cada vez mais detalhada quanto mais abaixo estão os níveis e que esta deve representar de forma clara o destino do Sistema e os principais marcos intermediários.
- Current Reality Tree - Árvore da Realidade Atual (CRT): está associada à questão “O que mudar?”, identificando as fraquezas do negócio e as possíveis causas do problema (Tenera, 2006; Chou, Lu, & Tang, 2012; López & Grasel, 2016). Parte do pressuposto de que um problema é um “efeito indesejável” (EI) consequente de determinada causa raiz,

e que, segundo Goldratt (2004), apenas um ou DOIs problemas-cheres são a causa de todos os demais. Para a sua construção existem duas abordagens possíveis, a abordagem tradicional (Cox, Blackstone & Schleier, 2003; Dettmer, 2007) e o método das três nuvens (Button, 1999; Cox et al., 2003). Gaspar (2019), numa revisão bibliográfica recente refere as principais características de cada uma das formas, referindo os passos propostos por diferentes autores e termina com a tabela 2.5, com as vantagens e desvantagens sugeridas ao longo da revisão bibliográfica, segundo vários autores, para cada um dos métodos.

Tabela 2.5 - Vantagens e Desvantagens das duas abordagens de construção da CRT

[Adaptado de Gaspar (2019), p. 40]

	Abordagem tradicional	Método das três nuvens
Vantagens	Detalhada Mais robusta Mais difundida e utilizada	Consome menos tempo Mais recente Mais intuitivo Fácil de comunicar Menos detalhada
Desvantagens	Gestores têm dificuldade em aceitar que existe um problema Demasiado complicado e demorado Difícil de comunicar Tende a representar uma imagem depressiva da realidade atual	Menos robusto Menos utilizado Menos estudado cientificamente Não é apropriado desenvolver uma <i>Evaporating Cloud</i> genérica a partir destas três nuvens, quando uma das nuvens está incorporada noutra

- Evaporating Cloud (EC) ou Conflict Resolution Diagram - Diagrama de Resolução de conflitos (CRD): é aplicado com o objetivo de resolver conflitos escondidos da organização que podem levar a problemas crónicos (Tenera, 2006). Assim, este diagrama está diretamente relacionado com a pergunta “Mudar para o quê?”, tendo a capacidade de “evaporar”o conflito (Dettmer, 1977). Ao contrário das árvores, o CRD tem um formato constituído por cinco caixas, duas com DOIs pré-requisitos que representam o conflito, duas com as necessidades que cada pré-requisito pretende satisfazer, e uma para um objetivo comum que ambas as necessidades tentam alcançar (Dettmer, 1977);
- Future Reality Tree - Árvore de realidade futura (FRT): permite mapear as alterações a serem feitas de modo a quebrar o problema. Através de uma análise causa-efeito permite testar o resultado futuro (Youngman, 2010). Utiliza DOIs importantes conceitos, as Injeções e os Ciclos de reforço positivo. As injeções são novas condições que são introduzidas na CRT de modo a que o futuro se desenrole da forma pretendida, os seus resultados desejados são ligados através da lógica causa-efeito referida. Quanto aos Ciclos de reforço positivo, são utilizados quando um efeito desejável é levado de volta a

uma das suas causas de modo a reforçar a estabilidade de uma nova realidade e ajuda a torná-la autossustentável.

No entanto, a Árvore da Realidade Futura pode não eliminar totalmente os efeitos indesejados, pois ao construir essa árvore lógica, é possível a inserção apenas dos efeitos desejados, aparentando, que a solução é milagrosa e resolverá todos os problemas. Assim, Árvore da Realidade Futura comporta os Ramos de Ressalva Negativa ou Negative Branches (Goldratt, 1994) que podem ser utilizados para testar a possibilidade de ocorrência e os efeitos negativos da tomada de decisões numa situação específica (Lacerda & Rodrigues, 1998). Youngman (2010) refere ainda que esta ferramenta permite entender se poderão vir a existir efeitos colaterais indesejáveis resultantes da solução proposta para o problema em questão.

- Prerequisites Tree - Árvore de pré-requisitos (PRT): realizada a árvore de realidade futura, é agora importante entender como ultrapassar os resultados que poderão surgir em consequência das ações a tomar estabelecidas na FRT. Assim, a árvore de pré-requisitos é composta por DOIs elementos, um obstáculo e um objetivo intermediário. O objetivo intermediário é a ação que devemos empreender para superar o obstáculo (Tenera, 2006; Youngman, 2010).
- Transition Tree - Árvore de transição (TT): reproduz os passos a realizar para implementar as ações definidas em FRT, depois de resolvidos os conflitos através da PRT. A TT é formada pela expansão dos elementos da PRT, através de um conjunto detalhado de necessidades, estados atuais e futuros, ações e objetivos intermédios espectáveis (Cox III et al., 2012);
- Strategic and Tatic Tree – Árvore estratégica e tática (S&T): esta é a última contribuição de Goldratt na temática do Thinking Process. Esta árvore foi desenhada com o objetivo de ajudar a Gestão de Topo a atingir os seus objetivos prevenindo erros (Harmony, 2018). Esta árvore dá resposta à última pergunta da lógica TP “Como sustentar a mudança e alcançar o POOGI?”, ao representar um plano geral do projeto e as métricas que demonstram que a implementação foi bem-sucedida. Cox et al (2012) refere três segmentos a considerar: Construir (Saber como identificar, sequenciar e implementar ações para construir uma vantagem competitiva decisiva), Capitalizar (Saber como vender uma vantagem competitiva decisiva) e Sustentar (Saber como identificar, implementar e manter a vantagem competitiva decisiva).

As ferramentas apresentadas anteriormente têm por base Categorias de Reserva Legítimas (CLR), isto é, a validade das conexões causais segue regras de clareza, existência de entidade e causalidade, causas insuficientes, entre outras (Quintaneiro, 2014).

2.1.2.3. Aplicações lógicas específicas

Este quadrante relaciona a componente operacional com a componente prescritiva de onde surgem algumas aplicações lógicas, das quais se destaca o DBR que será futuramente explicitado e aplicado neste estudo, a Cadeia Crítica (CC), a Gestão das Reservas (BM) e a análise V-A-T.

O sistema DBR foi apresentado em 1986 através da publicação da obra “*The Race*” Goldratt e Fox (1986). Este sistema possui três componentes essenciais (o *drum*, o *buffer* e o *rope*), que serão em seguida explicitados:

- O *Drum* (ou em português, o Tambor) traduz-se na principal restrição do sistema, sendo que as ordens de produção serão dadas segundo determinada ordem, baseadas no prazo de entrega ao Cliente e na capacidade finita da restrição (TOCICO, 2012). Assim, o “ritmo” do sistema produtivo é marcado pelo “ritmo” do *Drum*, isto porque não faria sentido os processos não gargalo trabalharem mais rapidamente que a restrição pois isso iria causar *stocks* intermédios de produto em vias de fabrico desnecessários.

É essencial uma correta determinação do *drum*, obtendo um cronograma de ordens de produção detalhado e viável (H. H. Wu & Yeh, 2006). Assim, Goldratt, na obra “*The Haystack Syndrome*” (Youngman, 2010) propõe DOIs passos para a concepção do *Drum*:

- *Generating the ruins*: As ruínas (*ruins*) é a produção ideal programada para todos os lotes na estação de estrangulamento sem considerar a capacidade de produção no estrangulamento. Assim, este primeiro passo passa pelo cálculo do tempo de produção ideal, para cada lote, na estação considerada “restrição”, este tempo é então obtido subtraindo o tempo do *buffer* de entrada na restrição à data de entrega;
- *Leveling the ruins*: como as ruínas são os horários de produção sem ter em conta a capacidade da produção do gargalo, poderá obter-se, para algumas máquinas da estação considerada restrição, a produção de DOIs ou mais lotes simultaneamente. Assim será importante nivelar a produção das máquinas nesta estação a fim de conseguir um correto cronograma de produção (*Drum*).
- O *Buffer* (ou em português, a Reserva): qualquer sistema produtivo poderá sofrer variações nos seus processos causando flutuações estatísticas do seu *output*. A fim de colmatar esta situação é criado um *buffer* de uma quantidade de *Work in Process* (WIP), medida em unidades temporais entre DOIs pontos específicos do sistema. Pode-se então considerar que o *Buffer* tem uma dimensão de tempo e de espaço (Sproull, 2009).

Na definição do *Buffer* duas situações podem ocorrer (Cox & Schleier, 2010; H. H. Wu & Yeh, 2006):

- Uma linha de produção com apenas uma operação *bottleneck* que, neste caso, deverá possuir DOIs *buffers*, o *buffer* da restrição (*lead time* estimado desde o

momento de libertação de matéria prima até ao momento em que se inicia a operação da restrição) e um *buffer* de expedição (tempo estimado a partir do fim da operação até ao transporte);

- Uma linha de produção com duas ou mais operações *bottleneck*, adicionalmente aos *buffers* da restrição e da expedição, deverão existir os chamados *rod buffers* que protegem as operações entre os diferentes *bottlenecks*, tal como explicitado na figura 2.7, em que cada retângulo representa uma operação.

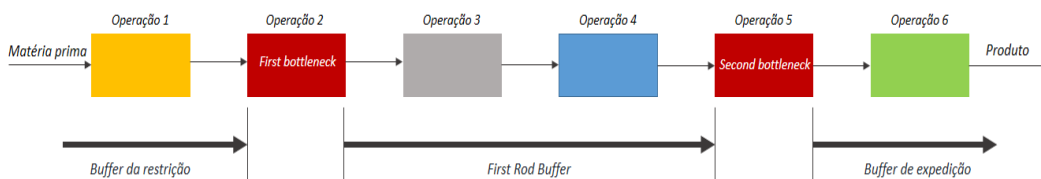


Figura 2.7: *Buffers* e *rod buffers* [Adaptado de Wu & Yeh (2006), p.887]

- O *Rope* (ou em português, a corda) é o que possibilita a comunicação entre a restrição e o início do fluxo produtivo, representando o fluxo de informação, do “tambor” para o início do processo, que sincroniza a libertação de materiais para o sistema com a cadência da restrição (TOCICO, 2012). Assim, quando a restrição termina o processamento de uma unidade de material, o *Rope* informa o início do sistema de que uma unidade de matéria-prima deverá dar entrada no início do sistema produtivo (Bhardwaj, Gupta, & Kanda, 2010).

A implementação do sistema DBR, efetivamente, é capaz de reduzir a quantidade de WIP, obter tempos de ciclo mais curtos, aumentar a produtividade e melhorar o processo *just-in-time* (Rhee, Cho, & Bae, 2010). Quando aplicado em ambiente fabril, destina-se a processos limitados pela capacidade de um dos processos do sistema produtivo. (Horng Huei Wu, Chen, Tsai, & Yang, 2010).

Apresentados os três componentes essenciais do sistema DBR é agora possível explicar como é feita a sua implementação. O mecanismo de aplicação do sistema DBR segue os seguintes passos (Bhardwaj et al., 2010; Lucas, 2014; Youngman, 2010:

1. Identificar a restrição
2. Explorar a restrição: este passo consiste em desenvolver um plano detalhado com a sequência de ordens de produção, tendo em conta não só os prazos de encomenda definidos, mas também a capacidade finita da restrição e o *output* requerido. Deste passo resulta então uma diminuição do nível de WIP e uma redução do *lead time* do processo, devido ao aumento do *output* da restrição e, por isso, do sistema como um todo.

3. Introduzir o *buffer* da restrição: que irá permitir que não ocorra espera por falta de material em resultado da diminuição do WIP.

O *buffer* da restrição é calculado em termos de tempo pois o pretendido não é manter um número específico de peças na restrição, mas sim um número de horas de trabalho. Assim, os números de peças mantidas no *buffer* irão mudar continuamente de acordo com a programação da produção na restrição.

Para o cálculo do *buffer*, Youngman propõe duas regras:

- 3.1. Reduzir para metade o *lead time* atual;
- 3.2. O *buffer* com o valor de 50% do *lead time* atual é dividido em três zonas: Zona Verde, Zona Amarela e Zona Vermelha. Segundo esta regra, a maioria dos trabalhos deverão ser concluídos nos DOIs terços iniciais do *buffer*. Caso o material não se encontre em frente à restrição na Zona Vermelha, é dada prioridade ao processamento do material em falta de modo a que o material chegue à restrição o mais rapidamente possível, sem que haja interrupções no “tambor”.

Assim, exemplificando este terceiro passo, assumindo que o *lead time* desde o início do processo ao início da restrição é 24 unidades de tempo (UT), o primeiro passo é reduzir para metade o *lead time* atual (para 12 UT). Em seguida divide-se este *buffer* em três zonas, conforme exemplificado no esquema da figura 2.8. Nesta figura encontra-se ainda exemplificado uma falha na zona vermelha que terá prioridade e que a Organização deverá atuar de forma a acelerar o processamento das peças em questão.

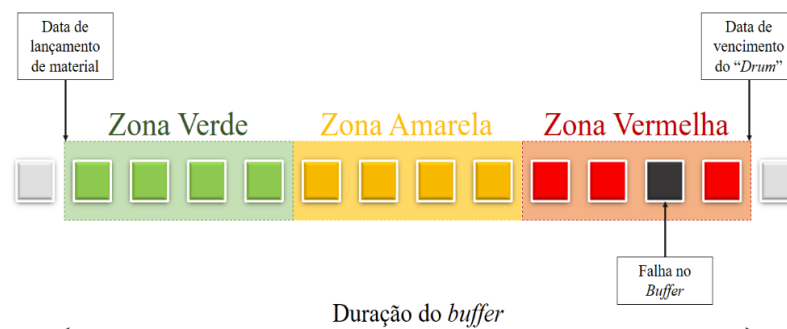


Figura 2.8: Divisão do *Buffer* nas três zonas

[Adaptado de Lucas (2014), p.18 e Youngman (2009)]

4. Determinar o tempo de libertação do material: conhecido o *drum* e o *buffer*, será agora necessário que a entrada de material seja feita ao mesmo ritmo que o *drum*, entrando a terceira componente do DBR, o *Rope*. Assim, é estritamente importante que a restrição funcione de acordo com o cronograma preparado para ela, corrigindo eventuais desvios. Isto permitirá reduzir o WIP, já que cada estação tem apenas disponível o material necessário para executar as tarefas que lhe competem, e, conseqüentemente o *lead time*.

De referir que quando um recurso não-restritivo tem duas ordens de produção em fila de espera, dever-se-á seguir a ordem FIFO (*first in, first out*).

5. Gerir o *buffer* de expedição: Segundo Youngman (2009), ultrapassada a restrição, existe uma *shipping rope* (ou em português, uma corda de expedição) que, juntamente com o *buffer* de expedição, são responsáveis por o “tambor” estar ligado à procura de mercado, assegurando que o material que passa pela restrição chega a tempo ao final do sistema. Permite então que os prazos de entrega sejam cumpridos, aumentando a vantagem competitiva da organização.

Na obra *Theory of Constraints Handbook*, Cox & Schleier (2010) apontam três pontos críticos do sistema *Drum-Buffer-Rope*:

- Prazos de entrega das ordens de produção;
- Planeamento detalhado do tambor;
- Planeamento da libertação de material.

Por fim, é possível esquematizar o sistema DBR (figura 2.9).

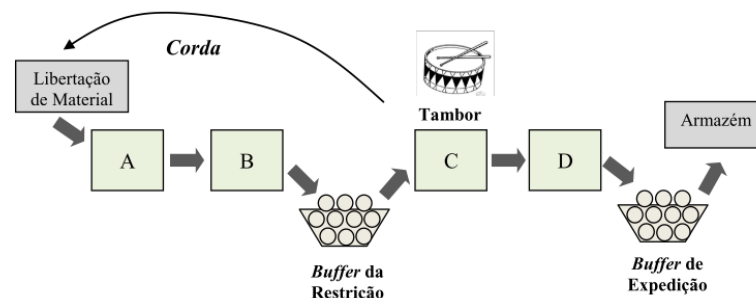


Figura 2.9: Sistema DBR esquematizado [Fonte: Lucas (2014), p.16]

Ainda relativamente à aplicação de um DBR, DOIs conceitos deverão ser estudados, o *Buffer Management* e o mais recente *Simplified Buffer Management*. Estes conceitos serão em seguida brevemente apresentados.

- ***Buffer Management* (Gestão das Reservas)**

O *Buffer Management* - BM é a ferramenta que monitoriza o progresso do planeamento executado pelo DBR, controlando a quantidade de proteção necessária a fim de concentrar as melhorias nessas áreas, aumentando o *throughput*, anteriormente definido como a quantidade de *output* que um sistema pode realizar por unidade de tempo, e reduzindo a quantidade de proteção necessária (Stein, 1997).

Com a utilização do BM, ao invés do controlo ser feito peça a peça, através do calendário detalhado de tarefas obtido do DBR, é mais simples verificar a frequência

das existências no *buffer* da restrição. Assim, ao analisar as falhas no *buffer*, são conhecidos os desvios do sistema relativamente ao programado (Lucas, 2014)

Youngman (2010) distingue duas funções do BM, o Controlo Local, que passa por controlar diariamente se existem penetrações na zona vermelha do *buffer*, e o *Feedback* Global que se trata de um controlo a longo prazo que, com o estudo das tendências de penetração na zona vermelha dos *buffers*, poderão ser sugeridas alterações relativamente ao seu tamanho.

Ainda relativamente ao Controlo Local, deverá ser calculado o *buffer Status* (Estado das Reservas) (ver Equação 2.1) que é uma métrica capaz de descrever, em tempo real, o processamento de cada ordem de produção. Como o *buffer* deve ser dividido em três zonas iguais, um *buffer status* com valor compreendido entre 67% e 100%, encontra-se na zona verde, isto é, no seu normal processo de fabrico. Caso se situe entre os valores 33% e 66%, significa que se encontra na zona amarela e, por isso, a ordem poderá ter sofrido alguma variabilidade, devendo ser idealizados planos para a acelerar, sem tomar qualquer tipo de ação. Por fim, caso o valor seja inferior a 33%, encontra-se na zona vermelha, pelo que dever-se-á acionar um plano de ação.

Por outro lado, o *buffer status* pode ainda ser utilizado para priorizar as ordens de produção numa fila de espera, priorizando a sequências de produção nos recursos não-restritivos.

$$\text{Buffer Status (\%)} = \frac{\text{Tempo de Produção Disponível}}{\text{Duração de Buffer}} \times 100 \quad (2.1)$$

- ***Simplified Drum-Buffer-Rope (S-DBR)***

Após a correta aplicação das metodologias TOC e DBR, a normal consequência será a deslocação da restrição do sistema para o mercado, surgindo assim a *Simplified Drum-Buffer-Rope*. Esta recente metodologia tem por base os conceitos de DBR, no entanto, a restrição interna identificada deverá ser subordinada ao mercado, a fim de produzir apenas aquilo que a procura é capaz de absorver. (Youngman, 2010)(Schrageheim & Dettmer, 2000).

O S-DBR, ao contrário do DBR tradicional, sugere a utilização de apenas um *buffer*, o *buffer* da produção, pois é aquele cujo objetivo é proteger o compromisso com o mercado uma vez que o lançamento do material para o sistema é sincronizado com a procura de mercado. Para além do *buffer* da produção utiliza-se uma “corda” cuja duração é igual ao *lead time* da produção.

2.1.2.4. Medidas de avaliação de desempenho

Este último quadrante relaciona a componente operacional com a componente reflexiva. É um sistema que ajuda na tomada de decisão utilizando as seguintes medidas de desempenho:

- Receitas (T-Throughput) que diz respeito à taxa que o sistema gera dinheiro por unidade de tempo (Tenera, 2006).
- Investimento (I-Inventory) trata-se de todo o investimento realizado pela Organização (por exemplo: imóveis, edifícios, máquinas, ferramentas, WIP (*Work in Progress*) ou matéria-prima) que a organização tem intenção ou poderá optar por vender (Gupta et al., 2010).
- Despesas Operacionais (OE – *Operating Expense*) representa todo o dinheiro que o sistema gasta (por exemplo: custos de mão de obra, *outsourcing*, transporte) (Lucas, 2014).

2.2. Modelos Integradores Lean, Six Sigma e Teoria das Restrições

Nos últimos anos, vários foram os estudos e desenvolvimentos das metodologias, abordando desde os principais conceitos, às técnicas e ferramentas utilizadas em cada metodologia.

No entanto, a recente tendência é a de integrar, de forma total ou parcial, estas três metodologias. Assim, este subcapítulo irá dividir-se em quatro partes respeitantes às integrações: *Lean* e *Six Sigma*, *Lean* e Teoria das Restrições, *Six Sigma* e Teoria das Restrições e, por último, *Lean*, *Six Sigma* e Teoria das Restrições. Cada uma destas quatro partes irá iniciar-se com uma breve apresentação daquilo que aproxima as metodologias a estudar, isto é, as suas complementaridades, seguindo-se a apresentação dos principais modelos e terminando com uma síntese e comparação entre modelos.

2.2.1. Integração Lean e Six Sigma

Segundo o estudo de Okimura (2013), esta é a integração mais conhecida e estudada nos últimos anos.

Numa das mais recentes revisões bibliográficas “*Annotated methodological review of Lean Six Sigma*” (Muraliraj, 2017) refere que Michael George é a principal referência relativamente a *Lean Six Sigma*. Este afirma que a fusão das duas filosofias é importante e necessária à evolução dos conceitos de melhoria de processos e melhoria contínua, sugerindo três razões principais:

- A metodologia *Lean* não tem a capacidade de manter o processo sob controlo estatístico;

- A metodologia *Seis Sigma*, por si só, não é capaz de melhorar drasticamente a velocidade de um processo, ou de reduzir o capital investido no mesmo;
- A metodologia *Lean Six Sigma* facilita a redução de custos de complexidade, definindo-a como uma metodologia que maximiza o valor para os acionistas, alcançando mais rapidamente o aumento da satisfação do Cliente, uma vez que tem a capacidade de reduzir custos e o capital investido, aumentar a qualidade e, ao mesmo tempo, a velocidade do processo.

Numa outra revisão bibliográfica, Albliwi, Antony, Abdul, & Lim (2015) sintetizaram o top dez dos benefícios referidos nos 19 casos de estudo estudados:

1. Maiores lucros e melhor economia financeira;
2. Maior satisfação do Cliente;
3. Redução de Custos;
4. Redução de Tempo de ciclo;
5. Melhoria de indicadores de desempenho;
6. Redução de defeitos;
7. Redução do tempo de máquina parada;
8. Redução de quantidade de *stock*;
9. Melhoria na Qualidade;
10. Maior Capacidade de produção.

Outra visão relativamente à integração destas metodologias é relativamente ao envolvimento da organização no processo de melhoria contínua. Assim, enquanto que o *Seis Sigma* é implementado apenas por alguns indivíduos específicos dentro de uma empresa (chamados *Black Belts*), as iniciativas *Lean* promovem a formação de todos na organização para identificar e eliminar atividades sem valor acrescentado. No entanto segundo inúmeros autores, a implementação das metodologias de forma isolada não é tão eficaz como quando implementadas em simultâneo, uma vez que, quando implementados isoladamente, podem ter frentes de trabalhos diferentes, disputar recursos da empresa ou até criar duas subculturas dentro da organização. (Okimura, 2013).

Em suma, a integração das filosofias *Lean* com o *Seis Sigma*, vulgarmente denominada de *Lean Six Sigma*, promove elementos complementares que diminuem os pontos fracos que cada uma, individualmente, possui. Com frentes de trabalho comuns e procurando criar uma cultura própria da organização com o objetivo de melhorar continuamente. Para tal, definem-se objetivos comuns, a partir dos principais objetivos que cada metodologia defende, tal como é possível observar na figura abaixo (figura 2.10).

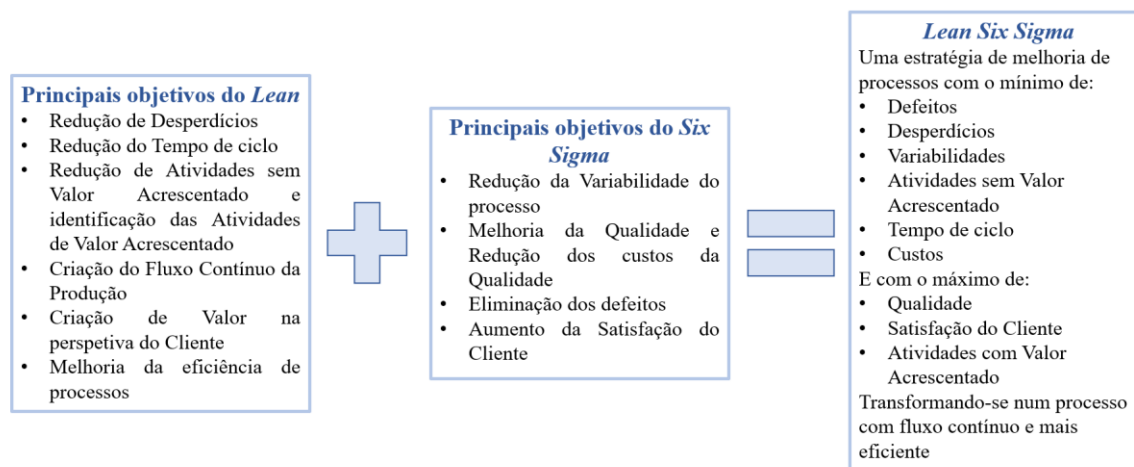


Figura 2.10 - Objetivos Lean, Six Sigma e Lean Six Sigma

Como visto anteriormente, estas metodologias complementam-se, no sentido em que as fraquezas de uma podem ser, por vezes, anuladas pela força de outra. Assim, para melhor entender as possíveis sinergias entre as duas filosofias é necessário apresentar as forças e fraquezas das mesmas (Tabela 2.6).

Tendo em conta a tabela 2.6 é possível analisar cada uma das fraquezas do *Lean* e do *Seis Sigma* e verificar como as forças de cada um se complementam, segundo os estudos de Okimura (2013) e a análise de Furtado (2017):

1. Primeira Fraqueza da metodologia *Lean*: Os riscos inerentes à não avaliação das consequências podem ser combatidos através da redução da variabilidade e aumento da previsibilidade inerente a um processo com aplicação *Seis Sigma*;
2. Segunda Fraqueza da metodologia *Lean*: A recolha dos dados permite identificar os benefícios dos negócios perante uma gestão tradicional;
3. Terceira Fraqueza da metodologia *Lean*: Ao contrário da metodologia *Lean*, o SS defende o rigor e a disciplina para resolver problemas complexos;
4. Primeira Fraqueza da metodologia SS: Para saber como estabelecer o nível sigma calculado pela metodologia SS utilizam-se estratégias *Lean* capazes de integrar melhorias através de mapas de fluxos de valor;
5. Segunda Fraqueza da metodologia SS: Por vezes a metodologia SS pode traduzir-se numa dependência dos métodos estatísticos que a metodologia *Lean* não possui, já que esta dá resposta, de forma rápida, a oportunidades de melhoria, uma vez que defende e promove avanços na inovação por parte de toda a equipa da organização;
6. Terceira Fraqueza da metodologia SS: Focando-se em atingir um processo estável, muitas vezes evita abordagens inovadoras que, por outro lado, a metodologia *Lean* defende fortemente.

Em suma, o *Lean* não apresenta métodos estruturados de soluções de problemas com ferramentas estatísticas com foco na variabilidade no processo, ao contrário do *Seis Sigma*. Por outro lado, o *Seis Sigma* não enfatiza a melhora da velocidade no sistema produtivo nem promove reduções do lead time no fluxo de valor, aspecto que pode ser suprido com os fundamentos do *Lean* (Ignacio & Mercado, 2014).

Tabela 2.6 - Forças e Fraquezas das metodologias Lean Six Sigma

[Adaptado de Furtado (2017), p.13]

	<i>Lean</i>	<i>Seis Sigma</i>
Forças	<ol style="list-style-type: none"> 1. Proporciona uma estratégia apropriada para integrar melhorias utilizando mapas de fluxos de valor. O foco é sempre o de criar valor e reduzir desperdícios. 2. Promove diretamente e defende avanços na inovação. 3. Resposta rápida a oportunidades identificadas. 4. Mudança de cultura e do trabalho local e resistência à mudança são suportadas pelo envolvimento direto da equipa em todos os níveis hierárquicos 	<ol style="list-style-type: none"> 1. O rigor e a disciplina são usados para resolver problemas complexos visto que não podem ser solucionados pela simples intuição ou tentativa e erro. 2. A recolha de dados suporta os objetivos da empresa e garante apoio da gestão para obter recursos. 3. O foco está na redução da variabilidade, reduzindo riscos e variações e melhorando a previsibilidade.
Fraquezas	<ol style="list-style-type: none"> 1. Não avaliar razoavelmente as consequências pode promover riscos. 2. Não identificar todos os benefícios dos negócios perante uma gestão tradicional. 3. Tem limitações quando lida com problemas de interatividade complexa e recorrentes. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Métodos estatísticos nem sempre são adequados para alguns sistemas – pode-se calcular o nível sigma mas não se pode ter a certeza de como estabelecer o nível sigma para as interações dos processos e falhas. 2. Forte dependência de métodos estatísticos. 3. O forte foco no processo estável pode conduzir a uma aversão ao risco, podendo penalizar novas abordagens inovadoras.

Por fim, e antes de apresentar os principais modelos de integração de *Lean Six Sigma*, é possível apresentar as sinergias entre as duas metodologias, apresentadas no estudo de Okimura segundo a tabela 2.7 (Okimura, 2013):

Tabela 2.7 - Sinergias entre metodologia Lean e Six Sigma [Adaptado de Okimura (2013), p.65]

Lean	Six Sigma
Estabelece uma metodologia para a melhoria	Possui uma política ou metodologia de implementação
Foca-se no fluxo de valor	É capaz de medir os requisitos do Cliente
Utiliza como base projetos de implantação	Possui habilidades de gestão de projetos
Compreende as condições atuais	Define e mede o estado atual

Tabela 2.7 - Sinergias entre metodologia Lean e Six Sigma

[Adaptado de Okimura (2013), p.65] (continuação)

Lean	Six Sigma
Coleta de informações de produtos e produção	Coleta de dados e ferramentas de análise
Documenta o fluxo e o <i>layout</i> atual	Elabora o mapeamento do processo e mapa de fluxo
Baseia-se muitas vezes no tempo do processo	Possui ferramentas e técnicas de coleta de dados
Calcula a capacidade do processo e o <i>takt-time</i>	Possui ferramentas e técnicas de coleta de dados
Cria folhas de processo padrão	Planeamento e Controlo de Processos
Avalia as opções	Utiliza Diagramas Causa e Efeito e FMEA
Planeia novos <i>layouts</i>	Possui habilidades de gestão de projetos e equipa
Testa para confirmar a melhoria	Possui métodos estatísticos para validação do processo
Reduz tempo de ciclo, produtos defeituosos, tempo de setup, falhas de máquinas e etc.	Sete ferramentas de gestão, sete ferramentas de qualidade, Desenho de Experiências (DOE)

Em seguida são apresentados alguns dos mais recentes modelos propostos de integração *Lean Six Sigma*, fazendo referência às suas principais características e representando a sua metodologia.

- Modelo *Lean Six Sigma* de Chen e Lyu (2009)

Tal como é possível verificar pela figura 1 disponível em Anexos A, este modelo segue a lógica do ciclo DMAIC e, em cada fase são apresentadas as ferramentas e técnicas utilizadas. Assim, a fase *Define* é constituída por 6 etapas que visam definir o tempo de projeto, os seus responsáveis, o problema e as metas financeiras e de desempenho do projeto a atingir, tendo com base os requerimentos do cliente. Relativamente à etapa *Measure* é usada para entender o estado atual do processo e recolher dados confiáveis em relação à velocidade, qualidade e custos que serão usados para entender as causas do problema. No que diz respeito à fase *Analyse* verifica as causas para o problema. A quarta fase deste modelo é o *Improve* responsável pela concepção de um plano de melhoria. Por fim a fase *Control* é usada para completar o projeto e repassar para o dono do processo as melhorias e procedimentos para manter os ganhos.

No entanto, este modelo, apesar de já aplicado e ter apresentado diversas melhorias, estas foram maioritariamente no aumento da qualidade já que, embora seja um modelo LSS, apresenta mais ferramentas do âmbito do *Six Sigma*. Estas ferramentas não são claramente evidenciadas nos 29 passos das cinco fases típicas do DMAIC, são sim apresentadas por fases, como é possível verificar na figura 2, disponível em Anexos A.

- Modelo *Lean Six Sigma* de Thomas et al (2009)

Este modelo é composto por duas etapas. A primeira etapa, correspondente aos cinco passos iniciais do modelo, segue os passos do ciclo DMAIC; a outra etapa, correspondente aos cinco passos seguintes, passa pela aplicação de ferramentas Lean.

Após ser aplicado em diversas organizações, o modelo tem vindo a ser aperfeiçoado até ao modelo representado na figura 3, disponível em Anexos A. A aplicação a uma multinacional fornecedora de assentos para o setor automotivo e aeroespacial é a que tem maior destaque, cujos maiores impactos para a empresa foram em qualidade, custo e prazo de entrega.

- Modelo *Lean Six Sigma* de Salah, Rahim e Carretero (2010)

Segundo estes autores, os DOIs métodos, *Lean* e *Six Sigma*, podem ser usados de forma integrada, através da combinação entre as fases do ciclo DMAIC com os cinco passos do ciclo PDCA. Desta forma, o modelo segue as fases do pensamento *Lean*: identificar o problema, criar um mapeamento dos sistemas e fluxos, implementar um sistema *pull* e, simultaneamente, aplica as ferramentas próprias do ciclo DMAIC, tal como é possível verificar pela análise da figura 4, presente no capítulo Anexos A.

- Modelo *Lean Six Sigma* de Snee (2010)

Segundo o autor, a etapa inicial do modelo prende-se com a análise do negócio que tem como objetivo identificar a lógica que a implementação *Lean* deve seguir, isto é, seguir a lógica da produção *pull* e da criação de valor. Segundo Snee (2010) as duas naturezas produzem melhorias globais de desempenho. No entanto, para sustentar o *Lean* e lidar com os problemas de deterioração de processos é necessário um sistema de melhoria contínua baseado no *Lean Seis Sigma* com recurso a ferramentas como o DMAIC para executar os processos iniciais de melhorias. Este modelo está representado na figura 5, disponível no capítulo Anexos A.

- Modelo *Lean Six Sigma* de Pepper e Spedding (2010)

Na revisão da literatura realizada pelos autores, Pepper e Spedding (2010) concluem que não existe um padrão de integração entre as metodologias. Assim, propõe um modelo que tem como objetivo otimizar o sistema em que a filosofia *Lean* orienta a dinâmica geral do sistema, informa o estado atual das operações e, pelo pensamento *Lean*, identifica as melhorias chave a realizar. Identificadas as áreas chave a melhorar, o *Seis Sigma* fornece um projeto baseado na metodologia de melhoria para atingir as áreas chave e dirigir o sistema em direção ao estado futuro. O modelo encontra-se disponível na figura 6, em Anexos A.

- Modelo *Lean Six Sigma* de Quintaneiro (2014)

Como é possível verificar pela figura 7, disponível em Anexos A, este modelo passa por quatro fases, na primeira fase é feito um Diagnóstico do Sistema, na segunda fase é feita a análise dos dados recolhidos na primeira fase, são identificadas as oportunidades de melhoria seleccionados os métodos e ferramentas a utilizar, relativamente à terceira fase são propostas as melhorias e a última fase passa por implementar e verificar os resultados das melhorias implementadas.

De referir que a autora sintetiza, para cada uma das fases, os objetivos a atingir bem como as ferramentas a utilizar (também disponíveis em Anexos A).

- Modelo *Lean Six Sigma* de Pinto (2014)

Este modelo foi aplicado a um processo particular de gestão de projetos e baseia-se no ciclo DMAIC em que as principais etapas de cada uma das cinco fases são sequenciais e suportadas por ferramentas e métodos específicos, tal como é possível observar pela figura 8, presente em Anexos A.

Este recorre ainda a um leque alargado de ferramentas estatísticas, dada a natureza dos processos envolvidos e, assim, ferramentas paramétricas de seis sigma devem alternar ou integrar abordagens alternativas descritivas e inferenciais não-paramétricas, como a apresentada na figura 8 em Anexos A.

Apresentados alguns dos modelos de integração *Lean Six Sigma* é agora importante proceder a uma análise comparativa entre os modelos.

Em primeiro lugar é possível verificar que não convergem na estrutura utilizada já que, se por um lado Salah, Rahim e Carretero (2010), Pinto (2014) e Chen e Lyu (2009) usam as etapas do DMAIC para estruturar o uso de ferramentas Lean e do Seis Sigma, Thomas et al. (2009) não seguem uma estrutura e ao longo das etapas, intercalam ferramentas *Lean* e *Seis Sigma* e o DMAIC surge também em algumas etapas. Os modelos de Pepper e Spedding (2010) e Snee (2010) são genéricos e partem de uma perspectiva estratégica do negócio. Outro ponto de divergência entre os modelos diz respeito às ferramentas, métodos e abordagens utilizadas em cada modelo.

Para além dos modelos apresentados, várias são as publicações relativas ao tema *Lean Six Sigma* que abordam temas como as vantagens e limites destas filosofias e da aplicação destes modelos, a exploração de novas oportunidades de aplicação destas metodologias a outros sectores que não os produtivos, entre outros.

Por fim, considera-se importante o estudo das principais divergências e dificuldades na junção das duas filosofias.

Assim, no estudo de Pacheco (2014b), o autor faz referência a alguns estudos que tratam estas limitações assim, segundo Bañuelas & Antony (2004), há um limite na integração uma vez que, muitas vezes, não existe um alinhamento entre as duas abordagens. Alinhamento este que depende do problema a ser resolvido. Mika, 2006 vai mais longe e afirma que as duas abordagens são incompatíveis já que o Seis *Sigma* não pode ser adotado por um trabalhador de nível médio de manufatura, enquanto que o *Lean* pode. Relativamente ao aprofundado estudo de Bendel, 2006, as duas filosofias acabaram por ficar mal definidas, o provocando a redução da eficiência na sua implementação. Isto deve-se ao facto de muitas vezes, serem juntas sem uma explicação lógica. Este autor levanta ainda outras questões como a falta de alinhamento com a política da empresa, ou o foco na satisfação do Cliente que pode levar à escolha dos projetos a pôr em prática tendo em conta apenas o baixo custo da sua implementação. Por fim, segundo a visão de Snee (2010), o Seis *Sigma* é mais direccionado para alteração ou variação de processos, o *Lean* para a melhoria nos fluxos de processo ou redução da sua complexidade e as duas abordagens em conjunto para reduzir perdas, atividade sem valor acrescentado ou tempos de ciclo. No entanto, para usar as duas metodologias é necessário subordinar uma das abordagens, deixando a outra subordinante.

No estudo de Albliwi et al. (2015) refere as seguintes dificuldades para a implementação conjunta das metodologias: processo muito demorado, muitas vezes tem falta de recursos, é feita uma má gestão das expectativas com resultados intangíveis definidos, há falta de consciencialização sobre os benefícios da LSS, principalmente na Gestão de topo, a nova estratégia de negócio pode ser mal aceite pelos funcionários e a falta de treino pode ser também um problema na aplicação de algumas ferramentas.

2.2.2. Integração Lean e Teoria das Restrições

Apesar de apresentarem focos diferentes (eliminar desperdícios e gestão da restrição), os DOIs métodos estão direccionados para a Melhoria Contínua do sistema, partilhando alguns pontos de convergência.

Depois de um levantamento dos principais estudos relativos à integração dos modelos *Lean* e TOC é possível sintetizar os objetivos que as duas metodologias têm em comum (Ignacio & Mercado, 2014; Okimura, 2013; Pacheco, 2012 e 2014 a,b):

- Metodologias orientadas para a Melhoria Contínua: enquanto que na TOC o foco é a gestão do elo mais fraco, através da aplicação dos cinco passos da TOC; No *Lean* é um sistema voltado para a eliminação sistemática de perdas, através do *Kanban* que procura de forma contínua encontrar os elos fracos da cadeia. Assim, ambas têm como foco o estabelecimento sistemáticos de melhorias contínuas, em

busca da perfeição, uma segundo os 5 passos de TOC e outra segundo a lógica *Kaizen*;

- Vencimento da inércia: para a implantação das novas ideias defendem que é essencial vencer a inércia;
- Valor definido segundo a perspectiva do Cliente: no *Lean* o valor é claramente definido pelo Cliente, enquanto que na TOC a percepção de valor do Cliente é fator determinante para o aumento do ganho;
- Fluxo de valor: as metodologias defendem que a concepção de sistemas de produção partem de uma visão global do sistema, sem se cingir à fábrica, mas compreendendo toda a cadeia de abastecimento. Assim, enquanto que o *lean* adopta o termo fluxo de valor, a TOC opta pelo termo valor, para definir que o valor, definido pelo Cliente, inclui toda a cadeia de interdependência entre fábrica e fornecedores;
- Lógica da sincronização da produção: é a máxima das duas teorias. Para abordar esta problemática a TOC propõem a lógica DBR e o *Lean* o *Kanban*. Esta sincronização é feita segundo a lógica de produção puxada (*pull*) em que, segundo o *Lean*, o recurso não deve produzir sem receber o sinal do recurso a jusante (*Kanban*). Já segundo o DBR para sincronizar a restrição com a procura de mercado e promover a libertação de material no sistema é também necessário implementar a lógica *pull*;
- Lógica dedutiva: a partir do conhecimento básico dos princípios que sustentam as duas teorias é possível gerar uma série de soluções particulares adaptadas ao caso em estudo;
- Solução de problemas: por um lado, ambas defendem o princípio científico, através da aplicação de relações efeito-causa-efeito. Por outro lado, defendem a utilização do pensamento dialético para a solução de problemas, isto é, um pensamento que rejeita soluções de compromisso para a solução de problemas e requerem a construção de soluções passíveis de serem implementadas;
- Para além disto, as duas metodologias têm outros objetivos e princípios em comum como aumento dos lucros, diminuição do tamanho dos lotes, aumento da capacidade, redução do *lead time*, aumento da qualidade, redução de custos, produção apenas daquilo que é necessário e participação dos colaboradores nos processos de melhoria contínua.

Para além dos objetivos em comum das duas metodologias, outra razão para a sua integração diz respeito à complementaridade a ela inerente, isto é, pela análise das forças e fraquezas das duas metodologias é possível verofocar que as fraquezas de uma podem ser, por

vezes, minimizadas ou até eliminadas, pela força da outra. Assim, apresenta-se a tabela (tabela 2.8) com as forças e fraquezas das duas filosofias:

Tabela 2.8 - Forças e Fraquezas das metodologias Lean e TOC

[Adaptado de Furtado (2017), p. 13]

	<i>Lean</i>	Teoria das Restrições
Forças	<ol style="list-style-type: none"> 1. Proporciona uma estratégia apropriada para integrar melhorias utilizando mapas de fluxos de valor. O foco é sempre o de criar valor e reduzir desperdícios. 2. Promove diretamente e defende avanços na inovação. 3. Resposta rápida a oportunidades identificadas. 4. Mudança de cultura e do trabalho local e resistência à mudança são suportadas pelo envolvimento direto da equipa em todos os níveis hierárquicos 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Promove a simplificação de processos e administração de recursos através do foco na restrição para a gestão de um processo. 2. Avalia todos os processos dentro de um contexto para garantir que os recursos não estão limitados à capacidade das não restrições. 3. Distingue restrição política vs. Física 4. Procura uma direção apropriada na melhoria dos indicadores (ganhos, níveis de stock e custos operacionais).
Fraquezas	<ol style="list-style-type: none"> 1. Não avaliar razoavelmente as consequências pode promover riscos. 2. Não identificar todos os benefícios dos negócios perante uma gestão tradicional. 3. Tem limitações quando lida com problemas de interatividade complexa e recorrentes. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Muito ênfase na exploração da restrição pode levar a aceitar ou tolerar perdas nos processos não restritivos. 2. Se o processo subjacente é fundamentalmente inadequado, não importa o quão bem gerido, ele pode não alcançar as metas e objetivos. 3. O processo de mudança da TOC é orientado tecnicamente e portanto não trata diretamente da necessidade de mudança.

Tendo em conta a tabela 2.8., será feita uma análise com o objetivo de verificar como cada uma das fraquezas do *Lean* e do TOC são complementadas pelas forças das duas metodologias, segundo os estudos de Okimura (2013) e a análise de Furtado (2017):

1. Segunda Fraqueza da metodologia *Lean*: Perante uma gestão tradicional, poderão não ser identificados todos os benefícios dos negócios que, pela TOC, é facilitada pois esta procura uma direção apropriada na melhoria dos indicadores;
2. Terceira Fraqueza da metodologia *Lean*: Ao lidar com problemas complexos ou recorrentes de interatividade que muitas vezes têm por base restrições políticas e não física. A TOC faz esta comparação;
3. Primeira Fraqueza da metodologia TOC: A TOC foca-se unicamente na restrição o que pode levar a aceitar ou tolerar perdas os outros processos não restritivos. Assim, a

metodologia *Lean* proporciona uma estratégia apropriada para integrar melhorias utilizando mapas de fluxos de valor;

4. Segunda fraqueza da metodologia TOC: Se o processo subjacente é inadequado, não importa o quão bem gerido é que poderá nunca alcançar as metas e objetivos. Assim, a metodologia *Lean* defende processos de inovação que, com base na melhoria contínua, propõem melhorias ao processo inicial;
5. Terceira Fraqueza da metodologia TOC: O processo de mudança da metodologia TOC é muito orientado tecnicamente e reconhece plenamente a necessidade de alguns métodos de melhoria propostos através do processo de inovação defendido pelo *Lean*.

Tal como no subcapítulo anterior referente à integração *Lean Six Sigma*, são agora apresentados alguns dos principais modelos propostos nos últimos anos.

- Modelo *Lean* e Teoria das Restrições de Antunes (1998)

Este modelo é orientado segundo os ciclos de melhoria e inovação do TQC.

Tal como é possível verificar pela figura 9, presente em Anexos A, este modelo tem duas fases que passam pelo Planeamento, Execução e Controlo. A primeira fase do modelo consiste na identificação da restrição, na definição de um plano estratégico de produção e, através de algumas ferramentas, na gestão da programação da produção tendo por base o plano estratégico desenvolvido. Já a segunda fase é considerada mais complexa e recorre a *softwares* e ações concretas como redução de tempo de *setup*, alterações de *layout*, aquisição de novos equipamentos, DBR, *Kanban*, horas extras de trabalho, entre outros. Já a etapa final do modelo compreende o inter-relacionamento dos DOIs subsistemas anteriormente descritos com a lógica da Gestão da Inovação

No entanto, para aplicar qualquer uma das fases é necessário cumprir os seguintes pré-requisito: fazer melhorias a nível macro no sistema e criar medidas que estabilizem estas melhorias.

- Modelo *Lean* e Teoria das Restrições de Gusmão (1998)

Este modelo tem a particularidade de ser direccionado a pequenas e médias empresas.

Segundo o autor, o modelo permitirá que a empresa alcance um padrão de produção *lean*, sobretudo a partir das ferramentas *Lean* e pelos ciclos de aplicação do modelo, como é possível verificar pela análise da figura 10, disponível no capítulo Anexos A.

Este modelo deve ser implementado diretamente nas restrições e, depois, alargado ao resto da empresa, iniciando-se numa etapa de compromisso e treino por parte de todos os níveis da organização. Em seguida, é feito o mapeamento de processos e, numa terceira fase, a restrição do

sistema é identificada. Na etapa 4 é feita a exploração ao máximo das restrições, a partir da aplicação das ferramentas *Lean*. A etapa seguinte compreende a subordinação dos demais recursos à restrição. A etapa 6 consiste na revisão das novas capacidades e em voltar à identificação de restrições, evitando a inércia muitas vezes inerente à melhoria contínua.

- Modelo *Lean* e Teoria das Restrições de Dettmer (2001)

Este modelo combina os cinco passos da TOC com as ferramentas *Lean*. Utilizando os cinco passos para focalizar os esforços e as ferramentas *Lean* em cada passo para eliminar desperdícios, otimizar processos e aumentar os ganhos.

As ferramentas e medidas a implementar em cada um dos cinco passos encontram-se discriminados na representação do modelo, presente na figura 11, em Anexos A.

O modelo, antes de ser iniciado, pressupõe os seguintes pontos:

- a. A empresa deve adotar uma perspectiva de ganho do sistema, melhorando os seus controlos internos, e definindo as fronteiras do sistema, determinando a sua proposta e analisando como essa proposta será medida;
- b. Após ampliado o controlo sobre o sistema, espera-se como resultado a melhoria da estabilidade do mesmo. Neste ponto, ferramentas de qualidade e do *Lean* são úteis;
- c. Adicionar capacidade protetiva para suportar o ganho, permitir baixos níveis de *buffers* e melhorar o fluxo.

- Modelo *Lean* e Teoria das Restrições de Araújo (2004)

Tal como é possível verificar pela figura 12 (disponível em Anexos A), este modelo destaca-se por integrar as duas abordagens conforme as suas ferramentas mais essenciais:

- a. Processo de pensamento de raciocínio lógico da TOC ;
- b. Mapeamento de Fluxo de valor do *Lean*.

O autor destaca a convergência entre as Árvores de Raciocínio Lógico, da TOC, com os fundamentos do VSM, do *lean*, pela busca da causa raiz do problema e de melhores resultados numa cadeia de valor (na figura 13, em Anexos A).

Assim, segundo Araújo (2004), o VSM ilustra de forma clara e quantitativa os desperdícios no fluxo de valor. Enquanto que a Árvore de Realidade Atual (ARA) apresenta os desperdícios de maneira qualitativa nos efeitos indesejáveis que impedem que o fluxo da cadeia produtiva tenha um resultado ótimo.

Numa perspetiva futura o autor compara o VSM futuro, que procura a redução do *lead time*, tanto no fluxo de informações como no fluxo de materiais (ilustrando os efeitos quantitativos),

com a Árvore de Realidade Futura (ARF), promovendo a validação da situação futura proposta e identificando as ações para os Efeitos Desejáveis que eliminem os Efeitos Indesejáveis visando a redução de desperdícios (apresentando os benefícios qualitativos nas melhorias propostas), tal como é possível verificar pela figura 14, em Anexos A).

- Modelo *Lean* e Teoria das Restrições de Guild (2012)

Guild (2012) apresenta um modelo de integração, ao nível estratégico e tático da organização, apresentado na Figura 15 em Anexos A. Para esta integração são utilizadas as estratégias da TOC e do *Lean* para desdobramento da meta do negócio e, por outro lado, as táticas do *Lean* são utilizados para implantação dessas estratégias.

- Modelo *Lean* e Teoria das Restrições de Chiou et al (2014)

Este recente modelo foi apresentado no estudo de Chiou, Jhang, Deng, Tsai, & Perng (2014) com o objetivo de melhorar um sistema de entrega.

O modelo segue as diretrizes do sistema *lean* e consiste em três grandes fases, tal como é possível verificar pela análise da figura 16, presente em Anexos A:

- a. Recolha e preparação dos dados;
- b. Fase de melhoria, que consiste na análise do VSM e na definição das melhorias;
- c. Fase de revisão que consiste na análise da fase anterior e na condução da melhoria contínua.

Os resultados de cada uma das fases devem ainda ser devidamente documentados.

Por fim, considera-se importante o estudo das principais divergências e dificuldades na integração das duas filosofias. Para isto, enumeram-se algumas diferenças e divergências entre os modelos a integrar, segundo o estudo “Teoria das Restrições, Lean Manufacturing e Seis Sigma: limites e possibilidades de integração” de Pacheco (2014b). Neste estudo Mittenburg (1997) refere que o JIT opera com menor inventário e *lead time*, enquanto que a TOC é capaz de gerar maior produtividade. Por outro lado, Chakravorty & Atwater (1996) e Watson & Patti (2008) referem que a TOC é mais tolerante à variabilidade e a *downtimes* relativamente elevados, quando comparada com o JIT e que a TOC é capaz de apresentar menor *lead time* precisando, em média, de menos 50% de inventário que o JIT, para atingir o mesmo nível de produtividade. Antunes Junior (1998) refere algumas contradições entre as duas metodologias, nomeadamente, que no *lean* é claro o conteúdo da mudança, enquanto que no TOC, para formalizar a estratégia de transformação, segue a lógica do *thinking process*, discutindo os meios e não o conteúdo. Outro autor que, segundo o estudo de Pacheco, realizou importantes estudos relativos à dificuldade de integração entre as metodologias é Dettmer (2001) que propõe DOIs pontos principais que as distinguem: O primeiro refere-se à visão de cada metodologia relativamente à variabilidade e

incerteza, enquanto que TOC aceita-as utilizando *buffers* estratégicos, *lean* visa reduzi-las constantemente; o segundo é relativo à visão que cada uma tem relativamente aos custos, enquanto que *lean* visa a redução de custos (fixos e variáveis), na TOC a redução de custos é limitada, ao contrário da geração dos ganhos. Por fim, Peragher et al. (2011) referem como lacunas dos atuais modelos híbridos, e proposta de melhoria para possíveis modelos, o estudo do conceito de perdas originadas pela má definição do mix de produtos.

2.2.3. Integração Six Sigma e Teoria das Restrições

Ao contrário da integração *Lean Six Sigma*, esta é a integração menos estudada e desenvolvida. Segundo os estudos de Okimura isto pode ser constatado pelo número de publicações disponíveis na base de dados *Scopus* que, em comparação com as restantes possíveis integrações das três metodologias, esta é a que apresenta o menor número de resultados, com apenas 21 publicações, entre 2001 e 2012. Este facto é ainda corroborado noutros estudos, nomeadamente em DOIs estudos de Diego Pacheco, Pacheco (2014a e 2014b), Jin et al. (2009) e Ignacio & Mercado (2014).

Embora seja pouco estudada, inúmeras indústrias utilizam ambas as metodologias para resolver as suas necessidades já que, se por um lado o Seis *Sigma* é capaz de resolver problemas complexos, a TOC identifica a restrição e explora-a, potenciando os ganhos para a organização Jin et al. (2009). Assim, Jin et al. (2009) enumera os três benefícios desta integração:

1. A restrição passa a ser analisada, medida e controlada por ferramentas estatísticas disponibilizadas pelo Seis *Sigma*, permitindo uma melhor compreensão do problema e das soluções tomadas;
2. O foco na restrição na resolução de problemas garante o aumento do ganho para a organização;
3. O Seis *Sigma* é escolhido pela Teoria das Restrições para fundamentar os resultados estatísticos em todo o sistema da empresa.

Neste caso, a convergência entre as duas metodologias não se deve aos objetivos que têm em comum mas sim pela complementaridade a elas inerente já que, enquanto que o foco do Seis *Sigma* é o cliente e o da TOC é a empresa. Assim, procede-se à análise das forças e fraquezas de cada uma das metodologias (Tabela 2.9) e analisar-se-á como as duas convergem num mesmo objetivo, a Melhoria Contínua da Organização.

Tendo em conta a tabela 2.9., e os estudos de Okimura (2013) e a análise de Furtado (2017) é possível constatar que:

1. Primeira Fraqueza da metodologia TOC, relativa ao grande enfoque na restrição, pode ser minimizada através da recolha de dados do *Six Sigma* que tornam difícil a aceitação de perdas nos restantes processos não restritivos;
2. Primeira Fraqueza da metodologia *Six Sigma* é resolvida pela avaliação de todos os processos dentro de um contexto que garante que os recursos não estão limitados à capacidade das não restrições. Isto porque o *Seis Sigma* não possui uma visão capaz de entender como certos projetos para a redução de defeitos podem afetar o desempenho global do sistema, podendo levar não só à priorização de projetos sem impactos financeiros para a empresa, como também à eliminação dos impactos positivos nos restantes processos. Assim, Husby (2007) sugere que os cinco passos de focalização da TOC podem complementar essa lacuna. (Pacheco, 2014b).

Tabela 2.9 - Forças e Fraquezas das metodologias TOC e Six Sigma

[Adaptado de Furtado (2017), p. 13]

	Seis Sigma	Teoria das Restrições
Forças	<ol style="list-style-type: none"> 1. O rigor e a disciplina são usados para resolver problemas complexos visto que não podem ser solucionados pela simples intuição ou tentativa e erro. 2. A recolha de dados suporta os objetivos da empresa e garante apoio da gestão para obter recursos. 3. O foco está na redução da variabilidade, reduzindo riscos e variações e melhorando a previsibilidade. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Promove a simplificação de processos e administração de recursos através do foco na restrição para a gestão de um processo. 2. Avalia todos os processos dentro de um contexto para garantir que os recursos não estão limitados à capacidade das não restrições. 3. Distingue restrição política vs. Física 4. Procura uma direção apropriada na melhoria dos indicadores (ganhos, níveis de stock e custos operacionais).
Fraquezas	<ol style="list-style-type: none"> 1. Métodos estatísticos nem sempre são adequados para alguns sistemas – pode-se calcular o nível <i>sigma</i> mas não se pode ter a certeza de como estabelecer o nível sigma para as interações dos processos e falhas. 2. Forte dependência de métodos estatísticos. 3. O forte foco no processo estável pode conduzir a uma aversão ao risco, podendo penalizar novas abordagens inovadoras. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Muito ênfase na exploração da restrição pode levar a aceitar ou tolerar perdas nos processos não restritivos. 2. Se o processo subjacente é fundamentalmente inadequado, não importa o quão bem gerido, ele pode não alcançar as metas e objetivos. 3. O processo de mudança da TOC é orientado tecnicamente e portanto não trata diretamente da necessidade de mudança.

Apresentadas as principais sinergias entre as duas metodologias, analisam-se agora os três modelos híbridos mais estudados, apresentando os esquemas propostos por cada autor nas figuras 17, 18 e 19 presentes em anexo:

- Modelo *Six Sigma* e Teoria das Restrições de Ehie e Sheu (2005)

Este modelo é constituído por seis fases que passam pela combinação entre o método DMAIC e os cinco passos da TOC.

Assim, a primeira etapa diz respeito à identificação da restrição, da mesma forma que a primeira fase do DMAIC (*Define*) do Seis Sigma; a segunda etapa dá continuidade à lógica da TOC na exploração da restrição, aplicando em conjunto as fases de *Measure* e *Analyze* do DMAIC; já o terceiro passo segue também a lógica da TOC para explorar a capacidade usando a etapa *Improve* do Seis Sigma e as suas ferramentas estatísticas para eliminar os problemas e as causas apontadas na etapa anterior; a etapa quatro subordina a restrição pela lógica da TOC e a fase Control do DMAIC, com a finalidade de garantir que todas as ações sejam aplicadas no sistema produtivo; relativamente à fase cinco, são realizados esforços para elevar a capacidade da restrição e a última etapa avalia a próxima restrição para evitar a inércia do sistema (Furtado, 2017; Okimura, 2013; Pacheco, 2012, 2014a, 2014b).

- Modelo *Six Sigma* e Teoria das Restrições de Jin et al. (2009)

Este modelo destina-se a pequenas empresas com o orçamento restrito e é constituído por dez fases. A primeira fase passa pela identificação da restrição através da análise da Árvore de Realidade Atual; As etapas 2. Definir os processos seguintes à restrição, 3. Medir a situação atual através de diversas ferramentas (histogramas, Diagrama de Dispersão, Pareto) e 4. Analisar as possíveis causas raiz do problema seguem a lógica *Define Measure Analyse* do Seis Sigma; a etapa cinco diz respeito à exploração da restrição, sendo que as ferramentas utilizadas nesta fase dependem do problema, uma vez que cada problema pode variar, a equipa deve analisar as diferentes abordagens para obter o máximo da restrição; na etapa seguinte, relativa à subordinação do sistema, todas as áreas irão seguir a restrição combatendo excessivo WIP entre as áreas. Jin et al. (2009) sugerem o uso do Mapeamento do Fluxo de Valor e o algoritmo TPC, dependendo do problema; A etapa 7 “Validar ou Verificar os dados” não faz parte da TOC nem do ciclo DMAIC, no entanto foi adicionada nesta parte do modelo para validar os dados para a realização da melhoria; quanto à Melhoria do projeto da etapa seguinte os autores sugerem a utilização de, por exemplo DOE; a etapa 9 só é realizada se para tal existir orçamento e a última etapa diz respeito o controlo e verificação de inércia.

- Modelo *Six Sigma* e Teoria das Restrições de Soni (2011)

Neste modelo, a integração da TOC e *Six Sigma* é realizada por meio da junção dos passos de cada método, por parte da TOC os cinco passos, e do *Six Sigma* o DMAIC, constituindo quatro grandes passos: o primeiro passo é a Identificação de uma oportunidade de melhoria, isto é, identificação da restrição e a aplicação dos passos *Define* e *Measure* do ciclo DMAIC; o passo

seguinte analisa o problema através da fase *Analyze* do DMAIC e da exploração da restrição da TOC; o desenvolvimento da solução constitui a penúltima fase e diz respeito à aplicação dos passos *Improve* e subordinar e elevar; e por último, Verificar e melhorar continuamente passa pela aplicação de *Control* e voltar ao primeiro passo).

Apresentados os principais pontos de convergência e os modelos mais estudados, será agora importante analisar as maiores dificuldades na integração das metodologias. Assim, enumeram-se as principais divergências apontadas nos estudos de Pacheco (2014a e 2014b).

Assim, Pacheco (2014) apresenta oito pontos em que as duas metodologias divergem, nomeadamente, o Foco, enquanto que a TOC se foca unicamente na restrição, o Seis Sigma procura focar-se no problema; os efeitos primários inerentes às suas aplicações, a TOC é capaz de aumentar o ganho rapidamente e o Seis Sigma um processo mais uniforme; relativamente à variabilidade o Seis Sigma foca-se em reduzi-la, enquanto que a TOC a aceita; no que diz respeito à facilidade de implementação, a TOC apresenta maior dificuldade; outro ponto de divergência é o nível hierárquico da aplicação que na TOC é feita na gestão de topo, ao contrário do Seis Sigma; as desvantagens causadas por cada uma, se por um lado, a TOC ignora partes da organização, a Six Sigma não contabiliza a interdependência do sistema e realiza a melhoria de processos de forma dependente, entre outros aspetos.

Por outro lado, Jin et al. (2009) apresenta três desvantagens inerentes à integração das duas metodologias:

1. Nem sempre a redução da variação irá elevar a capacidade da restrição;
2. Quando a redução da variação elevar a taxa de produção da restrição, os processos a jusante podem gerar maiores índices de rejeições, já que o foco foi colocado apenas no gargalo;
3. A incerteza entre aplicar os princípios da TOC e depois o projeto Seis Sigma ou o contrário.

2.2.4. Integração Teoria das Restrições, Lean e Six Sigma

Num mercado cada vez mais competitivo e exigente, há a necessidade das empresas se tornarem cada vez mais eficientes. No contexto económico atual, as administrações procuram cada vez mais encontrar soluções que permitam minimizar os custos sem que isso cause problemas na produtividade. Esta solução já não passa pela aplicação individual de metodologias de melhoria contínua como o *Lean*, a Teoria das Restrições e o *Six Sigma*, mas sim pela sua integração. Em inúmeros estudos esta integração é denominada por Modelos de Integração TLS. Esta filosofia integra as ferramentas das três metodologias já referidas e pretende alcançar resultados globais e não apenas locais (Furtado, 2017).

A análise de inúmeras referências bibliográficas permitiu concluir que a aplicação de modelos integradores permite obter melhores resultados. Este facto pode ser quantificado, segundo o estudo realizado nas fábricas da empresa Sanmina-SCI que teve a duração de DOIs anos e meio. Este estudo passou pela implementação das três ferramentas, individualmente e em conjunto, em mais de 100 projetos. Assim, das 21 fábricas participantes no projecto, 11 utilizaram a metodologia *Six Sigma*, 4 a metodologia *Lean* e as restantes aplicaram um modelo híbrido TLS, o iTLS que será posteriormente apresentado. Os resultados relativos à contribuição para a redução dos custos encontram-se no gráfico circular da figura 2.11:

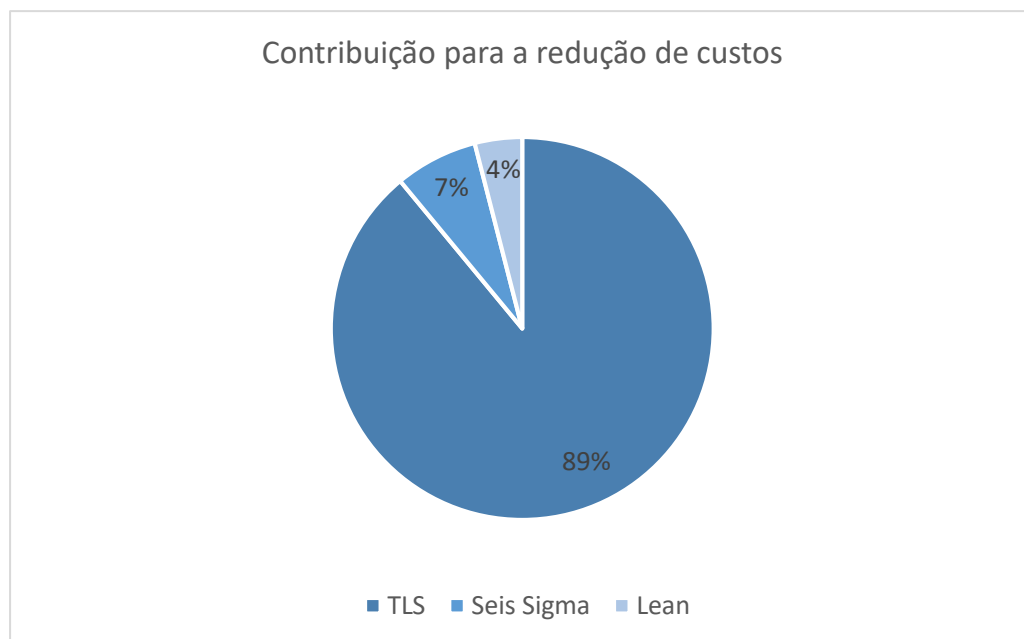


Figura 2.11 - Contribuição para a redução de custos
[Adaptado de Silva (2015), p. 25]

A metodologia tem vindo a ser aplicada em inúmeras empresas, com resultados positivos. Empresas como a Motorola, a General Electric, a Toyota, a Intel e, mais recentemente (em 2015), a Equatoriana Acosa, têm a agradecer, em parte a esta metodologia, pela sua sustentabilidade económica (Furtado, 2017; Silva, 2015).

Em inúmeras referências, a proposta e estudo de modelos híbridos partem de uma comparação individual das três metodologias e da análise das forças e fraquezas de cada uma delas, resultando nas duas tabelas disponíveis (tabela 1 e tabela 2) em anexo.

Comparadas as metodologias e analisadas as complementaridades entre elas, Inozu (2012) sintetiza 12 razões para a integração TOC com LSS, que são em seguida apresentadas (Okimura, 2013):

1. Foco: A TOC fornece um mecanismo de focalização que o LSS não possui;
2. Alavancagem: Segundo a TOC, um sistema está sempre limitado à sua restrição. Assim, concentra o método LSS no ponto máximo de alavancagem para o sistema;
3. Perdas: Tendo a LSS como um dos principais objetivos a redução/eliminação de perdas, a TOC evita que estas sejam feitas num recurso não restritivo;
4. Inércia: A TOC pode auxiliar o método LSS na melhoria contínua, aproveitando a capacidade de responder dinamicamente às mudanças de condições e evitar a estagnação;
5. Risco: A TOC suporta o método LSS com uma gestão robusta criada especificamente para combater os efeitos da Lei de Murphy “O que pode falhar, vai falhar”
6. Medição: A TOC oferece o pré-requisito essencial para métricas significativas e direcionadas para as organizações que usam LSS;
7. Conjunto de ferramentas: A TOC contém uma série de aplicações especializadas e adaptáveis a diversos ambientes, como a logística, as finanças, a estratégia, o marketing entre outros;
8. Analítica: A TOC aplica técnicas de pensamento e de análise gráfica para aproveitar a intuição, resolver problemas e construir roteiros de melhoria de desempenho;
9. Execução: O método Corrente Crítica de gestão de projetos da TOC pode acelerar os projetos LSS;
10. *Win-win*: A TOC promove uma cultura humanística, científica, baseada numa abordagem *Win-win* para a resolução de conflitos, em que as partes interessadas beneficiam-se e a resistência à mudança é minimizada, acelerando a taxa de adoção e melhorando a probabilidade de sucesso de esforços LSS;
11. Sinergia: A TOC esforça-se em corrigir a causa raiz, aumentar o fluxo de valor, em busca da perfeição, em sinergia com LSS;
12. Resultados: Integração LSS com a TOC pode produzir resultados de 10 a 20 vezes maiores do que os retornos com implementação do LSS isoladamente.

Ainda relativamente à integração das três filosofias de melhoria contínua, Moura (2012) sintetiza numa tabela as principais sinergias que cada metodologia pode oferecer ao interagir com as restantes, tal como é possível verificar pela análise da tabela seguinte (tabela 2.10):

Tabela 2.10 - Sinergias entre metodologias [Adaptado de Moura (2012), p.6]

	TOC é ajudada	Lean é ajudada	Seis Sigma é ajudada
TOC ajuda		Os conceitos e ferramentas da TOC ajudam a gestão do fluxo nas restrições; O <i>Thinking process</i> e o <i>Critical chain</i> ajudam a gerir projetos <i>Lean</i> .	A TOC fornece um foco aos projetos de melhoria <i>Seis Sigma</i> ; A contabilidade de ganhos da TOC permite avaliar melhor o impacto financeiro das melhorias <i>Seis Sigma</i> .
Lean ajuda	Os conceitos e ferramentas Lean ajudam na implementação de soluções TOC ao fornecer melhor controlo visual, menor dependência de computadores e fazer com que haja maior envolvimento dos colaboradores nos projetos de melhoria.		Os conceitos e ferramentas Lean ajudam a focar o <i>Seis Sigma</i> na redução da variação e aumento da satisfação dos clientes, com a eliminação dos desperdícios, que tornam os processos mais rápidos.
Seis Sigma ajuda	A satisfação dos clientes gerada em <i>Seis Sigma</i> reforça, a longo prazo, os ganhos operacionais da visão TOC. As ferramentas estatísticas ajudam a analisar, controlar e ajustar os <i>buffers</i> de produto	O foco do <i>Seis Sigma</i> na redução da variabilidade ajuda o <i>Lean</i> a alcançar processos mais estáveis e fiáveis, devido ao estudo e otimização da variação dos processos	

A tradução das 12 razões para se integrar a TOC com LSS, das análises de complementaridade das três metodologias e do estudo das sinergias entre as filosofias, são representadas nas propostas de modelos de integração apresentados em seguida:

- Modelo iTLS de Pirasteh e Fox (2007)

Pirasteh e Fox (2010) apresentam o modelo iTLS, modelo este que compreende sete passos essenciais baseados na TOC, que são aplicados para identificar e focar os esforços, e no *Lean* e *Seis Sigma*, com o intuito de reduzir as perdas e variações.

A fase final do modelo consiste nas etapas da TOC que elevam a restrição e aumentam os ganhos. Por fim, há a possibilidade de uma nova restrição aparecer e, assim, devem ser concentrados novos esforços de melhoria para esta nova restrição do sistema, evitando a inércia e tornando-se num ciclo de melhoria contínua.

Assim, o modelo proposto por Pirasteh e Fox (2010) visa o cumprimento de três pontos:

- Utilizar a TOC para fornecer “foco” e atingir a otimização global do sistema;
- Utilizar o *Lean* para reduzir Perdas;

- Usar o Seis *Sigma* para reduzir variação.

O modelo iTLS encontra-se representado na figura 2.12 e os sete passos explicitados na tabela 2.11:



Figura 2.12 - Modelo de integração iTLS [Fonte: Furtado (2017), p.25]

Tabela 2.11 - Os sete passos do Modelo iTLS [Adaptado Okimura (2013), p.90]

	1.Mobilizar e focar	2.Explorar a restrição	3.Eliminar as fontes de desperdício	4.Controlar a variação do processo	5.Controlar as atividades de suporte	6.Remover a restrição e estabilizar	7.Reavaliar o sistema
Ferramentas	-Missão -Visão global -Analisar o estado atual -Identificar o problema -Identificar rede fluxos -Modificar os objetivos -Escopo do trabalho -Membros da equipa -Entregas -Benefícios, retorno sobre os investimentos -Linha de tempo do projeto	-Focar na restrição -Identificar o valor -WCE -VSM -Remover atividades que não agregam valor -QFD -Plano de contenção -Controlo de fluxos -Métricas -Causa raíz -5S -Reinstruir	-Medir os processos -analisar e identificar fontes de desperdício -Estabelecer buffers -CE-CNX -FMEA - Implementar mudanças -Identificar gaps da VOC/VOCP -Instruir	-Identificar parâmetros de controlo -Estabelecer plano de controlo -Controlo de DPMO -Estabilizar a rede de fluxos -Implantar mudanças -Analisar variância -Qualidade/finanças/Op s/Controlo de DDE -Novo Fluxo de valor -Instruir	-Subordinar atividades afluentes à restrição - Implementar e controlar as métricas -Rever o SOP -Implantar auditorias -Eficiência Global das Métricas -Reinstruir	-Implantar <i>poka-yoke</i> -Focar em sistemas de prevenção -Envolver colaboradores -Estabelecer indicadores de controlo - Padronização – MOR QBR - Implementar TOS -Treinar e educar	-Voltar ao passo 1 -Identificar e priorizar a restrição do sistema

- Modelo de Excelência 360 ° de Moura (2010)

Este modelo baseia-se em duas premissas essenciais. Segundo o autor, o uso da intuição e da experiência pode não ser suficiente para atingir os melhores resultados, pelo que torna-se necessária a utilização de métodos que facilitem a gestão. A segunda premissa diz respeito ao facto da utilização de apenas um método de melhoria poder conduzir a benefícios quantitativos parciais e temporários.

Desta forma, o modelo integra os quatro métodos considerados pelo autor como os melhores métodos de melhoria: a TOC, que procura identificar os problemas centrais que limitam o processo, isto é, as restrições; o BMP (*Business Management Process*) que tem por objetivo a padronização de processos e a simplificação de questões administrativas em empresas departamentalizadas; o *Lean* que procura eliminar os desperdícios; e o Seis *Sigma* que tem como foco a redução da variabilidade que pode promover a insatisfação do Cliente.

Moura (2010) propõe que o modelo se inicie com a identificação da restrição, através da TOC. Em seguida são implementados projetos de melhoria, através do Seis *Sigma*, *Lean* e BMP para o tratamento da restrição. O autor refere ainda que as quatro metodologias fornecem, o *know-how* necessário para uma melhoria contínua de excelência e, adicionalmente, DOIs elementos do modelo que possibilitam a implementação de melhorias de grande impacto para a Organização, sendo eles: o *Know-why* relacionado com os valores, a visão, a missão e os objetivos da empresa, e o *Know-what* que se refere a critérios de excelência que orientam a eficaz aplicação do *Know-how*. É com base nestes três elementos que se representa o Modelo de Excelência 360 °, figura 2.13:



Figura 2.13 - Modelo de Excelência 360 ° [Fonte: Okimura (2013), p.88]

O autor sugere ainda um processo de implementação do modelo, esquematizado na figura 2.14:



Figura 2.14 - Processo de implementação Modelo de Excelência 360 °

[Adaptado de Okimura (2013), p.89]

- Modelo TOCLSS de Instituto AGI (2010)

Desenvolvido no Instituto AGI, em 2010, este modelo é constituído por cinco fases e a sua estrutura é baseada em duas Arquiteturas. A Arquitetura do Sistema baseada na Restrição tem como foco a produção de um sistema em que os processos de negócio funcionam de forma estável e previsível. Já a Arquitetura de Melhoria baseada no TOCLSS utiliza a sinergia entre as três metodologias.

Na figura 2.15 é apresentado o *roadmap*, proposto pelo instituto, constituído por cinco fases, que serão sucintamente apresentadas:

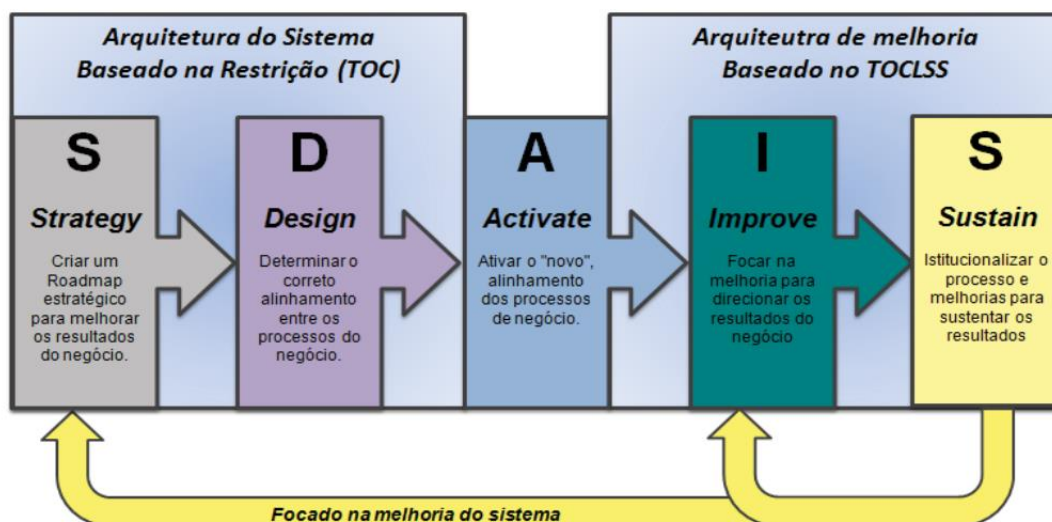


Figura 2.15 - *Roadmap* do modelo TOCLSS [Fonte: Furtado (2017), p.22]

1. *Strategy*: Consiste na criação de um plano estratégico claro e coerente para melhorar os resultados do negócio. Este processo utiliza o processo de estratégia da TOC, que é baseado na utilização da lógica de causa e efeito, para entender os principais

conflitos na organização, validá-los e projetar uma realidade futura capaz de eliminar o conflito.

2. *Design*: Passa por projetar o plano de reconfiguração. Por esta razão, os líderes devem alinhar os seus processos estratégicos de negócio a fim de alcançar os resultados finais desejados;
 3. *Activate*: É a fase responsável pela ativação do plano desenhado anteriormente
 4. *Improve*: Nesta fase aplicam-se as melhorias que irão permitir aumentar ganhos, reduzir *stocks* e despesas, através da utilização de ferramentas *Lean* (5S, SMED, TPM, Poka Yoke, entre outras) e Seis *Sigma* (Cartas de controlo, estudo de capacidade, DOE, etc.).
 5. *Sustain*: Criam-se planos de manutenção e verificação com o objetivo de sustentar e manter as melhorias impostas.
- Modelo UIC de Sproull (2010)

O autor afirma que, ao contrário de outros modelos híbridos, não define o seu modelo como uma coleção de ferramentas e técnicas, mas sim, uma estratégia de produção viável e prática que foca os recursos na área capaz de gerar maior retorno sobre o investimento (Sproull, 2009). Assim, apresenta uma descrição pormenorizada dos passos a realizar e sugere as ferramentas a aplicar, nomeadamente, VSM, *Roadmap*, Análise de Métricas e Indicadores, 5S, Gestão Visual, DOE, Diagrama de Pareto e Diagrama Causa-Efeito, *Run Chart*, DBR, Sistema *Pull*, *Standard Work*.

O autor, ao basear-se nos três ciclos de melhoria contínua, representou o seu modelo através de três círculos concêntricos (como é possível verificar pela figura 2.16) em que o círculo interior representa a Teoria das Restrições (TOC) e destina-se a proporcionar o foco que falta nas iniciativas *Lean* e Seis *Sigma*, através dos cinco passos da TOC. O segundo círculo representa o Seis *Sigma* com a aplicação do ciclo DMAIC para melhoria do processo. O círculo externo representa o ciclo de melhoria *Lean*, com base nos cinco princípios do *Lean*.

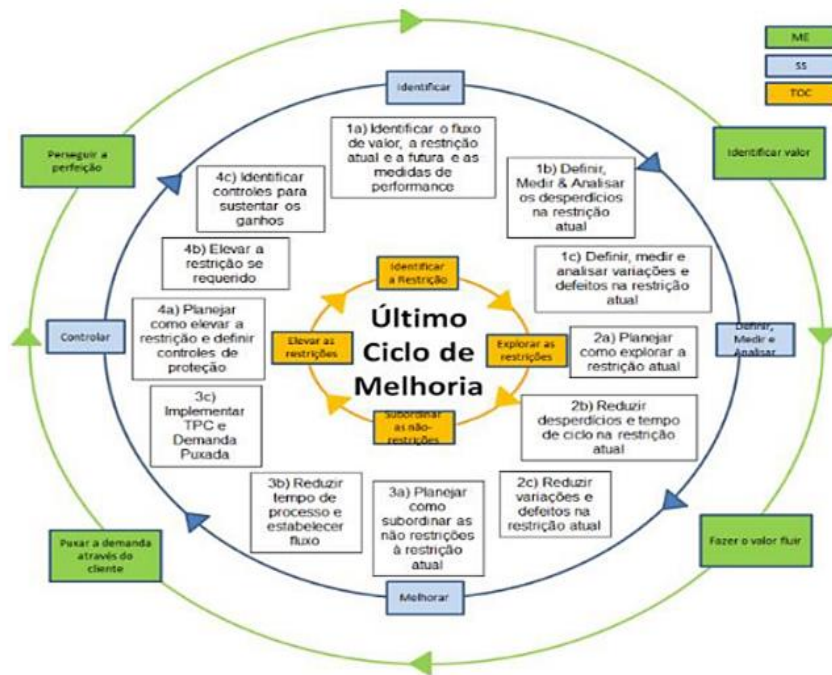


Figura 2.16 - Modelo UIC [Adaptado de Silva (2015), p.27]

- Modelo 7BG de Gutierrez (2012)

O nome do modelo deve-se às sete etapas propostas pelo autor para o alcance dos objetivos da empresa (*7 Behaviors to Goal* – 7 Etapas até ao Objetivo). Estes sete passos estão representados no esquema proposto pelo autor para o modelo 7BG (figura 2.17):

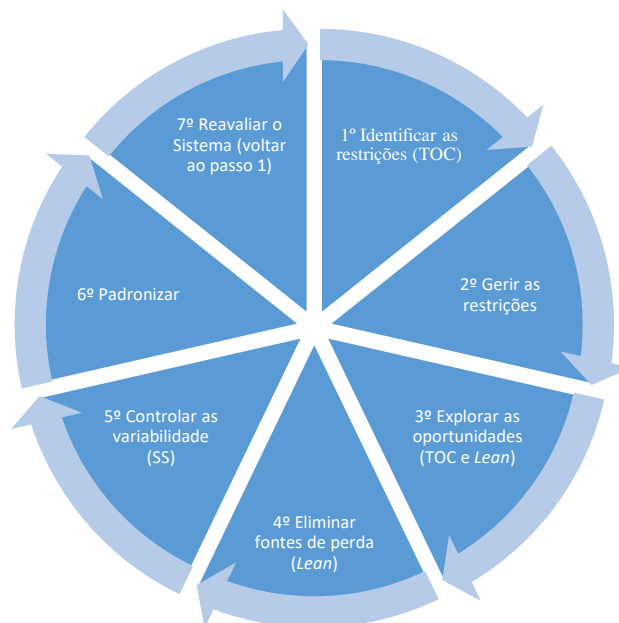


Figura 2.17 - Modelo 7 BG [Adaptado de Okimura (2013), p. 97]

O modelo, baseado na três metodologias, procura identificar, explorar e eliminar as restrições. Nos passos em que o objetivo é identificar a restrição, aplica-se a lógica TOC, já

quando o objetivo é reduzir desperdícios ou variabilidades aplicam-se as ferramentas *Lean* e *Seis Sigma*, respetivamente.

O autor sugere ainda algumas ações e a aplicação de certas ferramentas na aplicação de cada passo, nomeadamente: realização de reuniões diárias onde se promove a comunicação da equipa, Gestão TPC, Análise dos Fluxos de Processo, Diagrama de Causa-Efeito, FMEA, Diagrama de Pareto, SMED, 5S, Kaizen, VSM.

- Modelo TLS - Silva (2015)

Tal como é possível verificar na figura 2.18, o modelo tem por base os cinco passos fundamentais da TOC, sugerindo formas de complementar o estudo, por exemplo, o autor sugere a utilização de um *Software* de Simulação para avaliar o comportamento do WIP do sistema, e utilizando ferramentas *Lean* e *Seis Sigma* na aplicação de melhorias relacionadas com a eliminação de desperdícios ou de variabilidades, respetivamente.

De referir que o autor sugere a utilização das seguintes ferramentas: VSM, Simulação Real, Análise de Indicadores de Produção, Diagrama de Esparguete, 5S, SMED, Diagrama de Pareto, Diagrama de Causa-Efeito, DOE, SPC, SW, VOC e *Run Chart*.

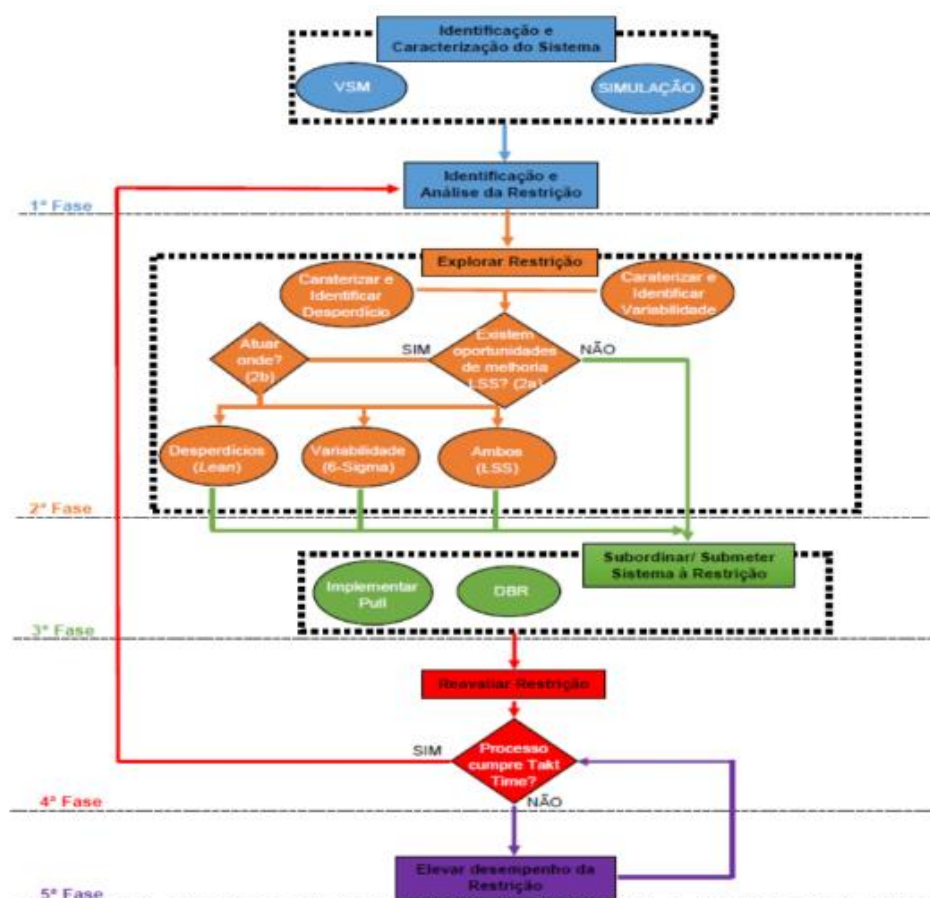


Figura 2.18 - Modelo TLS - Silva [Fonte: Silva (2015), p. 29]

- Modelo de operacionalização do TLS - Silva

À semelhança do modelo apresentado anteriormente, também este se baseia nos cinco passos da TOC. A parecença entre os DOIs modelos deve-se ao facto de terem sido aplicados ao mesmo processo produtivo e deste se tratar de uma extensão do modelo Silva (2015).

Adicionalmente ao modelo anterior a autora propõe a utilização de outras ferramentas como CSM, FSM e A3. Na fase “Explorar a Restrição”, foi ainda adicionada uma nova ferramenta: “Análise e Criação de Valor”.

O modelo encontra-se representado na figura 2.19.

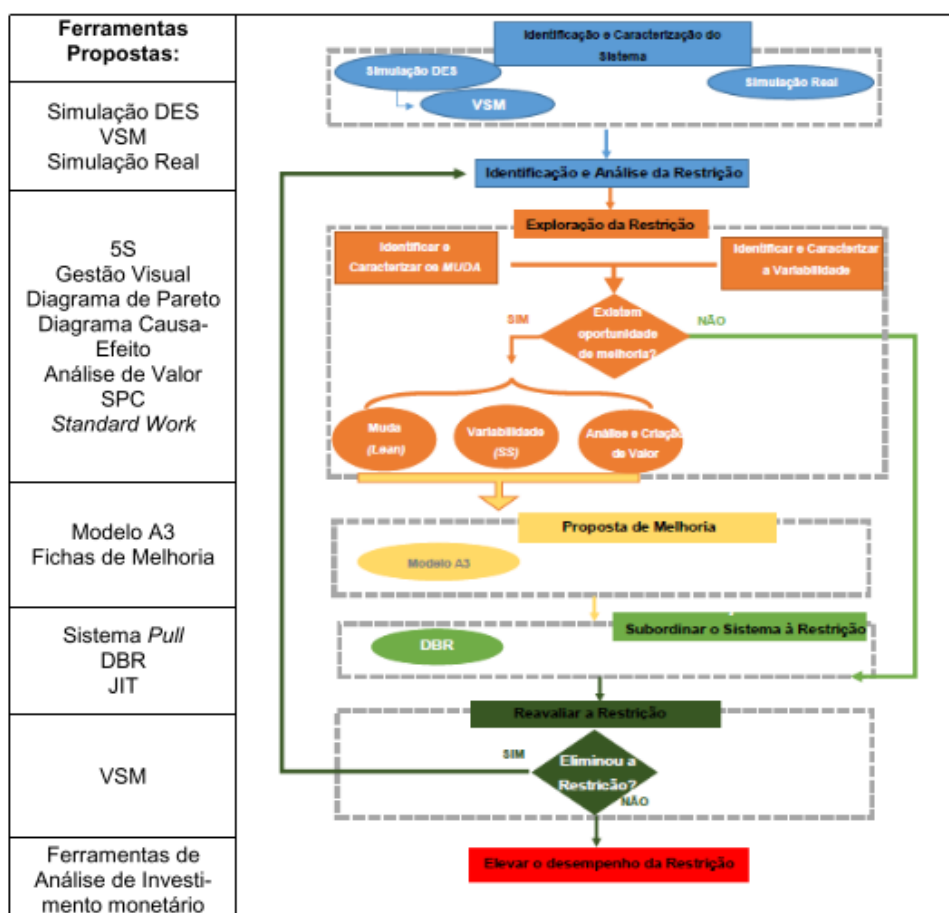


Figura 2.19 - Modelo de operacionalização do TLS – Silva [Fonte: Furtado (2017), p.55]

- Análise comparativa de resultados

Outro ponto considerado fulcral neste estudo consiste na comparação entre os sete modelos de integração total apresentados. Esta comparação será maioritariamente baseada nos resultados obtidos pela aplicação de cada um dos modelos em diversas empresas, este estudo baseou-se no estudo de Okimura, Furtado e de Silva (Furtado, 2017; Okimura, 2013; Silva, 2015).

Relativamente ao modelo iTLS, para além da aplicação realizada nas fábricas da empresa Sanmina-SCI tem vindo a ser aplicado em inúmeras outras empresas com bons resultados.

A Yaman-Gold Inc. é uma empresa mineira que tinha como objetivo reduzir a quantidade de minério rejeitado, a Votorantim Metais é uma das maiores produtoras de Zinco e tinha como objetivo sincronizar a produção e estabilizar o processo em cinco das suas fábricas. Os DOIs últimos casos não são referidas as empresas, no entanto sabe-se que a empresa produtora de componentes eletrónicos implementou iTLS para reduzir os custos que tinha em *stocks* (inicialmente 28 milhões/ano).

Na tabela 2.12 sintetizam-se as empresas onde decorreram os casos em estudo e os principais resultados obtidos:

Tabela 2.12 - Casos reais de aplicação do modelo iTLS

Empresa	Resultados obtidos
Yaman-Gold Inc. (Brasil)	- Redução da quantidade de minério de ouro rejeitado por mês em 14%, passando de 0,14g/mês para 0,12g/mês.
Votorantim Metais	- Aumento do OEE de 93% para 95%; - Recuperação de resíduos aumentou de 86% para 90,5%; - Produção passou a atender 100% da exigência do Cliente; - Lucros aumentaram 5%, com um <i>payback period</i> de apenas alguns meses.
Empresa produtora de componentes eletrónicos	- Reduziu em 50% o inventário.
Linha de montagem de uma válvula	- Aumentou a qualidade, ao reduzir a probabilidade de utilizar materiais não conformes; - Redução do Tempo de ciclo em 71,8%; - Redução em 50% o tempo de <i>picking</i> ; - Outras melhorias, nomeadamente, eliminação de desperdícios MUDA, área de trabalho bem organizada, linha flexível e inclusão de um processo S&OP.

Relativamente ao modelo de Excelência 360° foi encontrado apenas um caso de aplicação, na empresa Aglomerado Cotopaxi S.A., relatado pelo próprio autor do modelo. Foi implementado o modelo com o intuito de melhorar os processos que os projetos de Melhoria Contínua não tinham sido capazes de melhorar.

Tabela 2.13 - Casos reais de aplicação do modelo de excelência 360°

Empresa	Resultados obtidos
Aglomerado Cotopaxi S.A	<ul style="list-style-type: none"> - Otimização dos parâmetros da máquina responsável pelo processo restritivo, na primeira onda de melhoria contínua; - Redução do <i>Lead Time</i> e aumento na rapidez de resposta ao Cliente; - Implementação de um sistema <i>pull</i>; - Aumento de 40% da margem bruta, com retorno 7:1 sobre o investimento.

O modelo TOCLSS tem vindo a ser aplicado em inúmeras áreas. Em seguida apresentam-se os resultados 4 casos de aplicação do modelo.

Tabela 2.14 - Casos reais de aplicação do modelo TOCLSS

Empresa	Resultados obtidos
Republic Industries Internacional	<ul style="list-style-type: none"> - 40% menos <i>stock</i> em excesso; -Aumento da quantidade de produto acabado em 27%; -Aumento das vendas em 20%.
US Navy and Marine Corps	<ul style="list-style-type: none"> - Diminuição do número de horas de trabalho em 46%; - Diminuição do custo para o Cliente em 36%; - Redução em 92% do tempo de reposição de materiais.
TIMCO – Aviation Services	<ul style="list-style-type: none"> - Aumento do número de projetos terminados; - Redução do tempo de manutenção - Melhor sincronização e priorização do trabalho
Process Equipment Company	<ul style="list-style-type: none"> - Aumento da taxa de geração de ganho - Diminuição do WIP -Melhoria dos prazos de entrega -Redução dos tempos <i>setup</i>

O modelo UIC foi aplicado numa empresa fabricante de carroçarias. O autor do modelo foi responsável pela descrição da aplicação e não referiu o nome da empresa por razões de confidencialidade. Da mesma forma que os anteriores, encontra-se na tabela abaixo os principais resultados da sua implementação:

Tabela 2.15 - Caso real de aplicação do modelo UIC

Empresa	Resultados obtidos
Fabricante de carroçarias para o setor de transporte	<ul style="list-style-type: none"> - O processo de pedido de cotação diminuiu o seu atraso de 1200 horas para 131 horas; -Processo de processamento de pedidos da engenharia reduziu a sua duração de 40 dias para 48 horas.

Relativamente ao modelo 7 BG não foram encontrados nenhum caso de estudo de aplicação, sabe-se apenas que a empresa Vulkan o utiliza de forma integral.

Quanto ao modelo TLS Silva, 2015, foi aplicado na empresa Amorim e permitiu os seguintes resultados:

Tabela 2.16 - Casos reais de aplicação do modelo TLS Silva

Empresa	Resultados obtidos
Amorim	- Redução do tempo de ciclo da restrição de 39,03 seg/mil rolhas para 28,40 seg/mil.rolhas; -Num segundo ciclo de melhoria reduziu o tempo de abastecimento das máquinas de lavação.

Quanto à segunda operacionalização do modelo Silva (2015), realizado em 2017, por Furtado (2017), permitiu os seguintes resultados:

Tabela 2.17 - Caso real de aplicação do modelo TLS Silva (segunda aplicação)

Empresa	Resultados obtidos
Amorim	- Redução de defeitos no processo de escolha eletrónica.

Assim, conclui-se que os modelos híbridos (ou integradores) são capazes de atingir bons resultados, em inúmeras áreas de aplicação, tornando as empresas mais competitivas e eficientes.

Os modelos estudados, por serem bastante genéricos são possíveis de aplicar em inúmeras áreas, desde processos produtivos à gestão de projetos e à prestação de serviços. Estes têm em comum a preocupação da interdependência do plano estratégico e do estudo e aplicação de cada modelo tendo em conta cada caso específico, não seguindo apenas os passos dos modelos de forma isolada, mas sim adaptá-los aos diferentes casos.

- Fatores críticos e dificuldades na integração

Por fim, considerou-se importante para este estudo a referência às maiores dificuldades de integração e aos fatores críticos para o sucesso da implementação de qualquer modelo híbrido.

Assim, segundo Sproull (2009), embora as combinações duplas e triplas entre as três metodologias sejam possíveis e benéficas para uma organização, por vezes, existem conflitos que podem impedir estas integrações.

Segundo o estudo de Okimura (2013), várias são as referências a estes conflitos, podendo sintetizar quatro discordâncias na integração entre TOC e *Lean Six Sigma*:

Tabela 2.18 - Diferenças entre TOC e Lean Six Sigma

Diferenças entre TOC e <i>Lean Six Sigma</i>	
Teoria das Retrições	<i>Lean Six Sigma</i>
Linha desbalanceada	Linha balanceada
Trabalho com a ética do “ <i>Road Runner Ethic</i> ”	Trabalho com o <i>Takt time</i>
Sinal da corda DBR	Sinal do <i>Kanban</i>
Reposição de material baseada no tempo	Reposição do material baseada na quantidade

A primeira discordância refere-se à exploração da linha balanceada, por parte do *Lean*, e desbalanceada, por parte da TOC.

Enquanto que o *Lean* se baseia no *takt time* (tempo necessário à produção de uma unidade de produto segundo o ritmo da procura do cliente), tentando equilibrar a capacidade dos recursos e equipamentos com esta taxa. Assim, é aplicado o *lean thinking* de modo a eliminar os desperdícios e equilibrar a capacidade das operações.

Segundo a lógica da TOC, existe sempre uma restrição que limita o sistema e todos os recursos trabalham, de forma limitada, segundo a regra “*Road Runner Ethic*” (Quando houver trabalho, trabalhe tão rápido quanto puder; de outra forma, espere pelo trabalho”). Assim, existem componentes com capacidade protetiva que garantem que a restrição é explorada ao máximo.

Deste modo, entre os DOIs métodos, balanceado e desbalanceado, existem claras diferenças e a escolha por um deles depende das características do sistema. Enquanto que a lógica da linha balanceada funciona muito bem na ausência de variações de procura, do tempo de processo e de mix de produtos, a lógica da linha desbalanceada resulta melhor em ambientes com variabilidades.

Relativamente à segunda discordância, enquanto que a TOC segue a já explicitada regra “*Road Runner Ethic*”, em que o tempo que não é utilizado para produzir deve ser utilizado para atividades que melhorem a lucratividade da empresa, como ações preventivas e ações de melhorias. Já o *Lean* segue a lógica do trabalho ao ritmo do *takt time*. Comparando os DOIs métodos, o sistema de trabalho com o *Takt time* requer procura consistente e carga de trabalho repetitivo ao longo do tempo para remover variação, já a regra “*Road Runner Ethic*” a restrição pode mudar de posição entre os recursos, aleatoriamente e sem previsibilidade.

Outra grande diferença entre as metodologias refere-se ao TOC trabalhar segundo o sinal da corda do DBR e o *Lean* segundo o sinal do *kanban*. Este último funciona bem em ambientes de produção repetitiva, porém, não é muito adequado para ambientes de manutenção, reparo e revisão geral e em ambientes *job shop*. É também menos eficaz em ambientes com elevada variabilidade na procura e *mix* de produtos.

A última referência a divergências refere-se à reposição do material ser baseada no tempo, na TOC, e na quantidade, no *Lean*. Ou seja, de acordo com o *Lean*, os lotes de reposição têm tamanho fixo e os lotes de fabricação são acionados quando o tamanho do lote mínimo para reposição é alcançado, tornando o tempo de reposição imprevisível.

Em conclusão, o fator crítico para o sucesso da integração devem ser consideradas as especificações do processo em estudo, isto é, caso se trate de uma linha balanceada, apenas dois dos cinco passos da TOC podem ser aplicados; o passo 1 (identificar) e o passo 4 (elevar) da TOC, e estes passos devem ser aplicados continuamente à medida que uma nova variação ou restrição aparece. (Okimura,2013).

Capítulo 3 Proposta de Modelo Híbrido

A escolha da utilização de uma modelo TLS teve por base os estudos anteriormente referidos no capítulo 2, onde se constatou que a combinação das lógicas TOC, *Lean* e *Seis Sigma* permitem obter os melhores resultados de entre as várias metodologias de melhoria contínua, aplicáveis a sistemas produtivos.

Assim, o presente capítulo tem por objetivo desenvolver um modelo híbrido integrador das três lógicas abordadas e que procura ser permissível de aplicar em qualquer sistema, produtivo ou não. Modelo este baseado noutros DOIs modelos integradores das três lógicas (*Ultimate Improvement Cycle* de Sproull, Modelo TLS de Silva (2015) que procura ultrapassar as limitações do mesmo com contribuições principalmente nas fases de tratamento de dados, subordinação do sistema e elevação da restrição.

3.1. Apresentação do Modelo

O modelo TLS proposto é um modelo que procura ser aplicável a qualquer projeto de melhoria contínua e que se encontra subdividido em 5 fases principais. A lógica é adaptável ao sistema em estudo, assim, poderão existir passos que serão suprimidos caso a Organização já tenha implementado algumas das ferramentas propostas ao longo do modelo, em particular no caso de a Organização ter já aplicadas filosofias *lean*, *Seis Sigma* e *Lean Seis Sigma*.

A lógica seguida no modelo tem por base os cinco passos da Teoria das Restrições, as filosofias *Lean* e *Seis Sigma* e a lógica *Thinking Process* da TOC. Este modelo surge como uma expansão dos modelos *Ultimate Improvement Cycle* de Sproull e do Modelo TLS de Silva (2015), e ainda a operacionalização deste último realizado por Furtado (2017), com maiores contribuições nas fases de Tratamento de Dados, através da utilização de *softwares* de estatística, Subordinação do sistema, no que diz respeito à aplicação de um DBR com recurso a um *software* de simulação e ainda ao estudo de aplicação de SMED nesta fase da TOC, e Elevação da Restrição, através da aplicação de ferramentas da lógica do *Thinking Process* da TOC, como futuramente explicitado.

No fluxograma do modelo proposto, na figura 3.1, com cada uma das fases devidamente explicitadas. Segue-se ainda uma explicação detalhada de cada uma das fases do modelo, apresentando as ferramentas sugeridas para as mesmas.

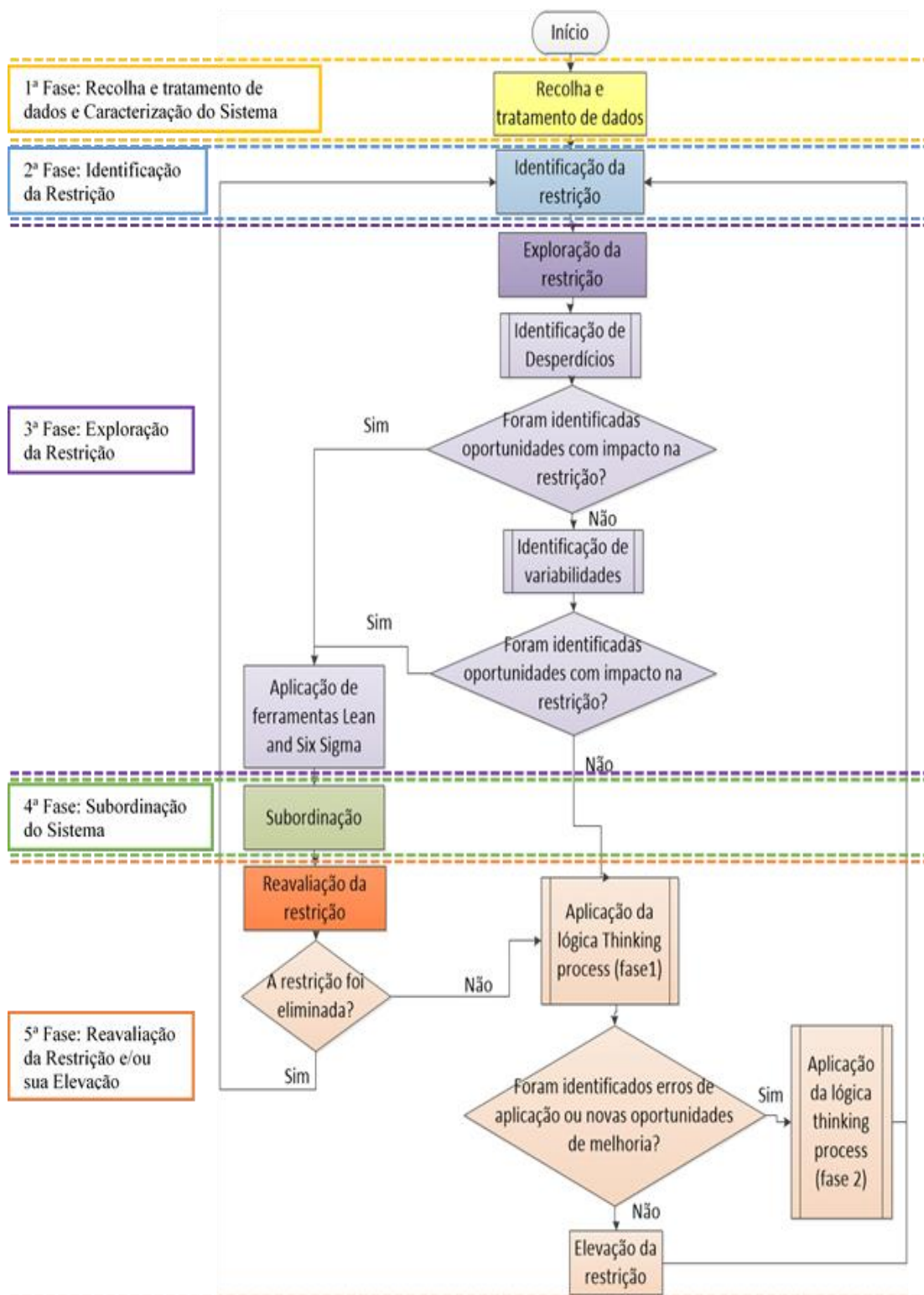


Figura 3.1 - Modelo híbrido proposto

3.1.1. Recolha e Tratamento de Dados e Caracterização do Sistema (1ª Fase)

A tabela 3.1 diz respeito à parte do modelo correspondente à primeira fase, cujo objetivo é caracterizar o processo a ser melhorado.

Tabela 3.1 - Modelo proposto (1ª Fase)

Ferramentas Sugeridas	Representação da 1ª fase do modelo
<ul style="list-style-type: none">• Ferramenta de Mapeamento de processos (ex.: Fluxograma);• Ferramenta de medição de tempos (ex.: Cronometragem ou Recolha de dados do sistema);• SPSS;• Input Analyzer do Arena Simulation	<pre>graph TD; Inicio([Início]) --> Recolha[Recolha e Tratamento de dados];</pre>

Para uma completa caracterização do sistema é necessário proceder à observação e entendimento de todos os processos pelo qual o sistema em estudo passa. Para isso, propõe-se que, nesta fase, se realize o fluxograma do processo e descrição de cada um dos processos de transformação.

Com o processo entendido e devidamente descrito, procede-se a uma recolha de dados do sistema, através de cronometragem ou, caso se aplique, pela recolha de dados provenientes dos sistemas de informação. Estes dados deverão ser posteriormente tratados e trabalhados.

Os dados a recolher poderão ser tempos de ciclo, tempos de processos ou outros similares. Caso se trate de um conjunto de dados que seja permissível a formação de famílias ou grupos, poder-se-á seguir o modelo apresentado por Lucas e Tenera (2014) representada na figura 3.2 - Metodologia para a análise do *input*. Esta metodologia tem como principal objetivo a constituição de um *input* válido para a concepção do modelo de simulação que será aplicado futuramente. Utilizar-se-á este modelo ainda para a identificação dos processos com maior variabilidade entre modelos.

Assim, poder-se-á dizer que a fase de tratamento dos dados subdivide-se em duas etapas. A primeira, diz respeito à verificação dos modelos que são significativamente diferentes entre si. A segunda etapa tem como objetivo o ajustamento dos tempos de ciclo recolhidos à distribuição estatística que melhor representa a variabilidade a eles inerentes.

Desta forma, seguindo a ótica de Lucas e Tenera (2014), para comparar grupos de duas ou mais amostras independentes pode-se realizar testes paramétricos ou não paramétricos, dependendo se as amostras seguem ou não uma distribuição normal. Para o testar recorre-se ao teste de *Shapiro-Wilk* considerando as seguintes hipóteses:

- H_0 : A população possui uma distribuição normal
- H_1 : A população não possui uma distribuição normal

De referir que outros autores também apoiam Lucas e Tenera (2014) na escolha do teste de Shapiro-Wilk em detrimento dos outros quatro testes mais populares (*Kolmogorov-Smirnov*, *Qui-quadrado*, *Anderson-Darling* e *Lilliefors*), principalmente quando se pretende utilizar o *software* de estatística proposto (SPSS). Nomeadamente Elizabeth Reis et al. (1996), Romão et al. (2010) e, mais recentemente, Razali et al. (2012), Yap et al. (2011) e Patrício et al. (2017).

Caso a hipótese nula seja rejeitada, isto é, caso as amostras não sigam a normalidade seguem-se os testes não paramétricos que, dependendo se os conjuntos de tempos de ciclo a comparar são maiores ou menores que 2, se aplica o teste de Kruskal-Wallis e de Mann-Whitney, respetivamente. Com estes testes será possível concluir se as amostras são provenientes de populações com a mesma distribuição ou de populações distintas.

No caso de se verificar a normalidade opta-se pelos testes paramétricos, cujo objetivo é estudar as diferenças entre os parâmetros das diferentes populações, média e variância, e, caso não existam diferenças significativas entre os seus parâmetros, consideram-se provenientes da mesma população.

Tal como nos testes não paramétricos, o teste adequado é selecionado consoante o número de amostras (K) a estudar. Visto que os testes de comparação da média têm como pressuposto que as amostras são retiradas de populações normalmente distribuídas com iguais variâncias, em primeiro lugar é realizado o teste à diferença de variâncias.

Para a comparação entre as variâncias, caso se tenha como objetivo comparar apenas duas amostras, utiliza-se o teste f da Variância em que, se a hipótese nula é rejeitada conclui-se que existem diferenças significativas na variância das amostras. Caso contrário, a não rejeição da hipótese nula permite o avanço para a comparação da média das populações. Ainda no caso de se tratar de apenas duas amostras utiliza-se o teste t da média de onde se conclui o mesmo que o teste anterior se a hipótese nula for rejeitada.

Por fim, caso o objetivo seja comparar um número de amostras superior a DOIs não é exequível que a comparação seja feita duas a duas pois aumentaria a probabilidade de ocorrência do erro tipo I, isto é, rejeitar a hipótese nula quando esta é verdadeira. Assim, inicia-se este estudo com o teste de Bartlett que permitirá investigar o nível de significância das diferenças entre as variâncias das k populações. A rejeição de H_0 permite concluir que existe pelo menos um par de populações em que as variâncias são significativamente diferentes. Assim, para cada par deverá ser realizado um teste f da variância para cada um dos pares de k estudados.

Em seguida, para comparar as médias de mais de duas populações com variâncias iguais, opta-se pela utilização do teste Schfflé que permitirá a comparação múltipla entre cada par de médias, especificando que grupo, ou entre que grupos existem essas diferenças. Se o teste

confirmar que as amostras provêm de populações iguais na sua média, e sabendo que também possuem iguais variâncias, os dados são agrupados.

Note-se ainda que na metodologia de Lucas e Tenera (2014) é indicada a utilização do *Software* estatístico SPSS. No entanto, no caso dos testes Bartlett, Scheffé, f da média e t da média, propõe-se que, para a realização do teste Bartlett, se utilize o *Sigma XL* e para os restantes três o *Data Analysis*, ambos são extensões do Excel.

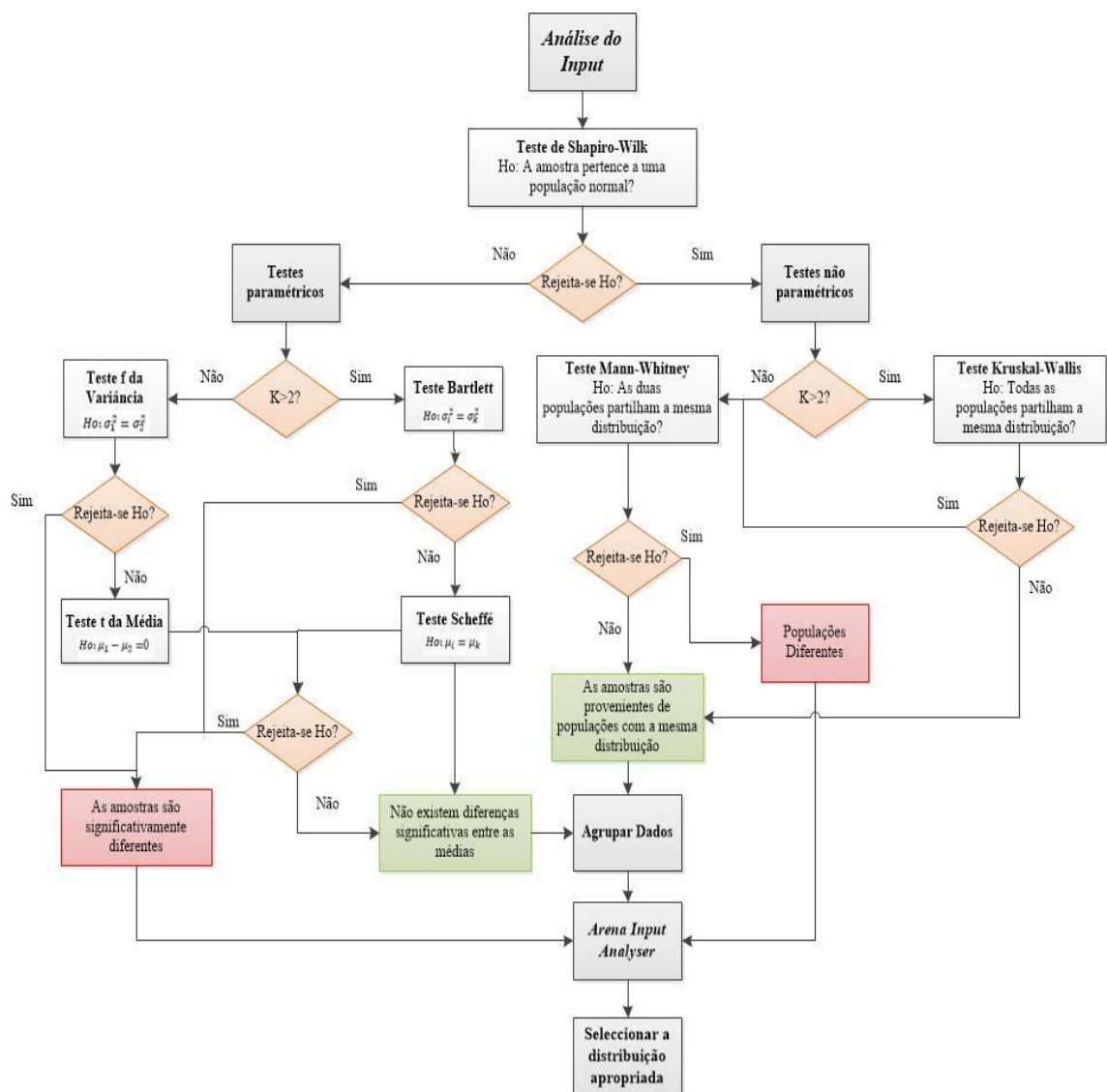


Figura 3.2 - Metodologia para a análise de inputs


Segundo a metodologia de Lucas e Tenera (2014) apresentada, segue-se agora para a segunda fase com o objetivo de ajustar os tempos de ciclo (ou outros dados recolhidos) à distribuição estatística que melhor representa a variabilidade a eles inerentes. Para tal, propõe-se a utilização do *Software* de Simulação *Rockwell Arena Simulation*, concretamente a ferramenta *Input Analyzer*. Assim, verifica-se a validade da aproximação à distribuição através do teste de

Kolomogorov-Smironov. Para este teste, caso o *p-value* cedido pelo *software* seja superior a 0,05, então a aproximação é válida.

3.1.2. Identificação da Restrição (2ª Fase)

Para a identificação da Restrição propõe-se que se compare os resultados obtidos em três fases, tal como explicitado na tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Modelo proposto (2ª Fase)

Ferramentas Sugeridas	Representação da 2ª fase do modelo
<ul style="list-style-type: none"> • VSM; • Cálculo da capacidade efetiva; • Simulação real ou <i>software</i> (ex: Arena Simulation) 	

A primeira fase diz respeito, através dos dados recolhidos, à construção de um *Value Stream Mapping* – VSM que permitirá não só uma melhor caracterização do sistema mas também a representação das atividades com maior e menor valor acrescentado. No VSM deverão estar representados os tempos de ciclo recolhidos, média e desvio padrão, os tempos de *Changeover*, o OEE global de cada estação e ainda os valores das três componentes do OEE. Nesta fase, calcula-se ainda o *Takt-time* que, segundo a filosofia *Lean*, permitirá concluir a restrição, verificando para que estação o tempo de ciclo é superior ao *Takt time*.

A segunda fase diz respeito a um Estudo de capacidade da linha, através do cálculo da capacidade real em cada estação. A restrição será a estação que representa menor capacidade. Para este estudo de capacidade deve-se ter em conta o OEE do equipamento, os tempos de mudança de *setup*, o tempo de ciclo das operações manuais e dos equipamentos e, em alguns casos, a *performance* do Operador.

Adicionalmente às fases anteriores, poderá ser interessante recorrer a *softwares* de simulação que permitam estudar a evolução de WIP antes de cada processo, em situações normais do sistema, isto é, de acordo com o horário normal de funcionamento e segundo um processo “*push*” (empurrar para a seguinte). Outra opção ainda é que este estudo de evolução de WIP seja feito através de uma simulação real do sistema.

Comparados os resultados obtidos é possível concluir com maior certeza a restrição do sistema, na qual incidirá o restante estudo durante a aplicação do modelo.

Muitas vezes, após identificada a restrição, é necessária uma nova análise mais detalhada da estação onde se encontra a restrição.

3.1.3. Exploração da Restrição (3ª Fase)

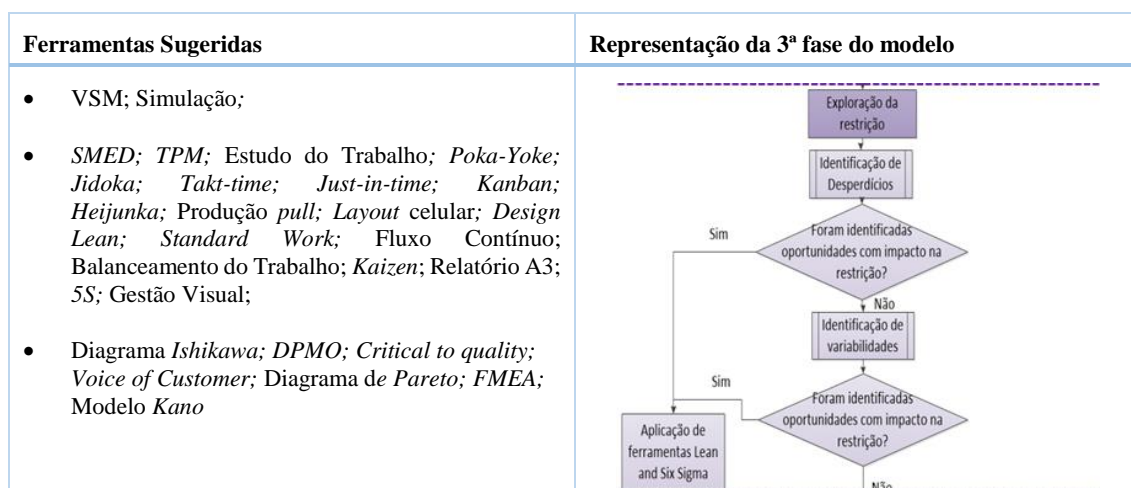
A 3ª fase do modelo proposto encontra-se esquematizada na tabela 3.3. Esta fase alia a lógica do *Thinking Process* com as metodologias *Lean* e Seis *Sigma*.

Como referido anteriormente, o *Thinking Process* baseia-se na resposta a três perguntas essenciais “O que mudar?”, “Mudar para quê?” e “Como mudar”. A resposta à primeira pergunta

é feita através da identificação e caracterização de desperdícios e variabilidades presentes no processo. As duas perguntas seguintes são respondidas através da implementação das ferramentas *Lean*, *Six Sigma* e *Lean Six Sigma* no sistema.

De notar que, caso não sejam encontradas quaisquer fontes de desperdício e variabilidade com impacto na restrição, proceder-se-á à utilização das árvores do *Thinking Process* da Teoria das Restrições, como será abordado futuramente no subcapítulo elevação da restrição.

Tabela 3.3 - Modelo proposto (3ª Fase)



Desta forma, o primeiro passo é verificar se é possível reduzir desperdícios e variabilidade. Para tal, começando pela identificação dos desperdícios propõe-se a utilização da tabela 3.4 que refere para cada tipo de desperdício e, de acordo com a razão aparente (que poderá ser recolhida por observação do VSM, da Simulação ou através de reuniões com as diferentes áreas envolvidas), ferramentas de identificação e de melhoria.

Tabela 3.4 – Proposta de ferramentas por tipo de desperdícios

Tipo de desperdício	Razão aparente	Ferramentas de identificação	Ferramentas de melhoria
Produção em excesso (produz-se em excesso ou antes do necessário)	Para evitar longos tempos de mudança de <i>setup</i>	<ul style="list-style-type: none"> VSM Simulação SMED 	<ul style="list-style-type: none"> SMED
	Por existir baixo grau de confiabilidade do equipamento	<ul style="list-style-type: none"> VSM Simulação Estudo do tempo e razão de paragens não planeadas 	<ul style="list-style-type: none"> TPM
	Por ser conhecida alguma deficiência na qualidade do processo	<ul style="list-style-type: none"> DPMO <i>Critical to quality</i> <i>Voice of Customer</i> 	<ul style="list-style-type: none"> <i>Poka-yoke</i> <i>Jidoka</i>

Tabela 3.4 - Proposta de ferramentas por tipo de desperdícios (continuação)

Tipo de desperdício	Razão aparente	Ferramentas de identificação	Ferramentas de melhoria
Produção em excesso (produz-se em excesso ou antes do necessário)	Por ser frequente erros de cálculo na determinação da procura ou planeamento da produção	<ul style="list-style-type: none"> VSM Simulação Cálculo do <i>Takt-time</i> 	<ul style="list-style-type: none"> <i>Just-in-time</i> <i>Kanban</i> <i>Heijunka</i> Produção <i>pull</i>
Tempo de espera (Tempo ocioso para operador, material ou informação)	Por ocorrer com frequência avarias nos equipamentos	<ul style="list-style-type: none"> VSM Simulação Estudo do tempo e razão de paragens não planeadas 	<ul style="list-style-type: none"> TPM <i>Kaizen</i>
	Por existirem longos tempos de mudança de <i>setup</i>	<ul style="list-style-type: none"> VSM Simulação SMED 	<ul style="list-style-type: none"> SMED
	Por ser necessário percorrer longas distâncias para a realização de tarefas	<ul style="list-style-type: none"> Diagrama Esparguete 	<ul style="list-style-type: none"> Re-desenho do <i>layout</i> Possibilidade de <i>Layout</i> celular
	Por haver falta de matéria-prima ou recursos	<ul style="list-style-type: none"> VSM Simulação Cálculo do <i>Takt-time</i> 	<ul style="list-style-type: none"> <i>Just-in-time</i> <i>Kanban</i> <i>Heijunka</i> Produção <i>pull</i>
	Por haver, constantemente, interrupções na sequência de operações	<ul style="list-style-type: none"> Estudo do trabalho 	<ul style="list-style-type: none"> <i>Standard work</i> e Fluxo contínuo Balanceamento do trabalho
	Por existirem elevadas filas de espera no gargalo	<ul style="list-style-type: none"> VSM Simulação Cálculo do <i>Takt-time</i> 	<ul style="list-style-type: none"> <i>Just-in-time</i> <i>Kaizen</i>
Transporte (Tempo de movimentação de material de uma estação para outra ou para dentro ou para fora do local de armazenamento de <i>stock</i> elevado)	Porque o transporte utiliza tem pouca capacidade, obrigando a várias viagens	<ul style="list-style-type: none"> VSM Simulação 	<ul style="list-style-type: none"> <i>Kaizen</i> Relatório A3 Fluxo contínuo Produção puxada
	Por ser necessário percorrer longas distâncias	<ul style="list-style-type: none"> Diagrama Esparguete 	<ul style="list-style-type: none"> Re-desenho do <i>layout</i> Possibilidade de <i>Layout</i> celular
Processos inadequados (processos sem valor acrescentado para o Cliente)	Por não se conhecer aquilo que o Cliente valoriza	<ul style="list-style-type: none"> Voice of Customer Critical to quality 	<ul style="list-style-type: none"> Modelo <i>Kano</i>
	Porque o espaço e a ordem de trabalho é desadequado	<ul style="list-style-type: none"> Estudo de Trabalho 	<ul style="list-style-type: none"> <i>Standard work</i> Gestão Visual Balanceamento do trabalho 5S <i>Lean design</i> <i>Kaizen</i> Relatório A3
Stocks (Recursos em espera e custos de posse elevados)	Porque existe mais matéria-prima do que a necessária porque os fornecedores apresentam elevados <i>lead times</i> ou oferecem promoções de quantidade	<ul style="list-style-type: none"> Avaliação de fornecedores 	<ul style="list-style-type: none"> <i>Kanban</i> externo

Tabela 3.4 - Proposta de ferramentas por tipo de desperdícios (continuação)

Tipo de desperdício	Razão aparente	Ferramentas de identificação	Ferramentas de melhoria
Stocks (Recursos em espera e custos de posse elevados)	Porque existe quantidade elevada de produto acabado relativamente aos pedidos do Cliente	Para este problema, verificar possíveis razões e ferramentas de identificação e melhoria em “ Produção em excesso ”	
	Porque existe elevado WIP entre estações	<ul style="list-style-type: none"> • VSM • Simulação • Cálculo do <i>Takt-time</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Produção puxada • <i>Kanban</i> • Balanceamento do trabalho • <i>Kaizen</i> • Relatório A3
Defeitos (Existe quantidade elevada de defeitos, erros e retrabalhos)	Por baixa confiabilidade de equipamentos	<ul style="list-style-type: none"> • VSM • Simulação • Estudo do tempo e razão de paragens não planeadas 	<ul style="list-style-type: none"> • TPM
	Por erros humanos em operações manuais	<ul style="list-style-type: none"> • DPMO • Estudo do trabalho 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Standard work</i> • Gestão Visual • <i>Poka-yoke</i> • <i>Jidoka</i>
	Elevada variabilidade do processo	<ul style="list-style-type: none"> • Simulação • Análise estatística e ferramentas <i>Six Sigma</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Ferramentas <i>Six Sigma</i>
Movimentações desnecessárias dentro de um posto de trabalho	Por má organização do posto de trabalho e constante procura por materiais	<ul style="list-style-type: none"> • Estudo de Trabalho • Diagrama Esparguete 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Standard work</i> • Gestão Visual • Disposição no ponto de uso • 5S • <i>Kaizen</i> • Relatório A3
	<i>Layout</i> inapropriado	<ul style="list-style-type: none"> • Diagrama Esparguete 	<ul style="list-style-type: none"> • Re-desenho do <i>layout</i> • Possibilidade de <i>Layout</i> celular
Desperdício de conhecimentos e potencial humano	Desmotivação de funcionários; Pouco poder de decisão; Renúncia a novas ideias.	<ul style="list-style-type: none"> • Estudo de Trabalho • Questionários 	<ul style="list-style-type: none"> • Constituição de equipas <i>Kaizen</i> • Prémios de equipas • Maior autonomia e responsabilidade do operador • <i>Standard Work</i> • <i>Jidoka</i>

Relativamente às fontes de variabilidade, a tabela seguinte (tabela 3.5) propõe ferramentas a utilizar de modo a identificar, avaliar e reduzir estas mesmas variabilidades. De notar que outras ferramentas six sigma poderão ser utilizadas principalmente na fase de Tratamento de Dados, nomeadamente, análise do sistema de medição, análise multivariada de dados (através dos *softwares* de estatística), testes de hipótese e Simulação.

Tabela 3.5 - Proposta de ferramentas para a variabilidades

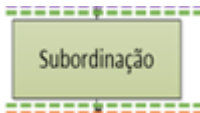
Ferramenta a utilizar	Objetivos
Cálculo do DPMO	Comparar DPMO atual com 3,4 DPMO's.
Requisitos Críticos para a Qualidade (CTQ) e Voice of Customer	Identificar os requisitos dos Cliente que devem ser mensuráveis e ter uma tolerância bem definida.
Diagrama de Ishikawa (ou Causa-efeito)	Identificar e avaliar as causas potenciais de um problema / fonte de variabilidade.
Diagrama de Pareto	Identificar as causas ou problemas que mais afetam o processo e que, por isso, deve ser prioritária a sua resolução.
Desenho de Experiências (DOE)	Para identificar principais causas para determinado problema, através de uma experiência planeada em que se fazem variar fatores para verificar de que forma varia a saída.
Tolerance stack-up	Através da adição de tolerâncias encontra-se a tolerância total de uma peça que deverá ser comparado com os limites de desempenho ou intervalo disponível de modo a verificar se o <i>design</i> funcionará corretamente.
Método Taguchi	Identificar o fator perda do produto, isto é, todo o ruído introduzido no produto, e otimizá-lo por técnicas estatísticas.
FMEA	Ao identificar os principais problemas, através do diagrama de Pareto, utiliza-se o FMEA para identificar as causas e os efeitos para os problemas identificados e calcular o Risco. Por fim são propostas ações corretivas.
Simulação	Permitirá avaliar como é que as ações, tanto ao nível da variabilidade como do desperdício, melhoraram, ou não o sistema produtivo.

Por fim, pretende-se que todas as melhorias propostas sejam apresentadas e analisadas num A3.

3.1.4. Subordinação do Sistema (4ª Fase)

Explorada a restrição será agora necessário sincronizar com os restantes processos não-gargalo. Assim, o quarto passo do modelo proposto será a subordinação do sistema, tal como é possível verificar na tabela 3.6.

Tabela 3.6 - Modelo proposto (4ª Fase)

Ferramentas Sugeridas	Representação da 4ª fase do modelo
<ul style="list-style-type: none"> • SMED além da restrição • DBR; Kanban 	

Para este quarto passo implementa-se o sistema *Pull* e aplica-se a ferramenta DBR da TOC para o planeamento da produção com recurso a *Kanban*. Note-se ainda que, no caso de ser aplicado SMED à restrição, muitas vezes é necessário proceder a um alinhamento de todo o sistema, tendo por vezes que re-organizar distribuição de tarefas, ordens de tarefas ou até mesmo

as tarefas propriamente ditas relativamente a outras estações que não a restrição para obter um maior ganho.

3.1.5. Reavaliação da Restrição e Elevação da Restrição (5ª Fase)

Após todas as melhorias e alterações ao modelo, é necessário reavaliá-lo no sentido de verificar se houve ou não melhorias no processo, isto é, houve aumento da capacidade da linha, diminuição de WIP, diminuição de erros ou defeitos, entre outros problemas que possam ter provocado a restrição.

Para esta avaliação, tal como representado na tabela 3.7, propõe-se a utilização do VSM, da análise de capacidade e de Simulação. Aplicadas estas ferramentas conclui-se se a restrição foi ou não eliminada. Em caso positivo, reinicia-se um novo ciclo de melhoria contínua, identificando a nova restrição. No caso da Restrição não ser eliminada ter-se-á que elevar a Restrição.

A elevação da restrição corresponde ao quinto passo da teoria das restrições e consiste num investimento monetário no processo de modo a que seja possível eliminá-la. Este investimento poderá ser feito na forma de contratação de novos operadores, na compra de novos equipamentos ou no investimento de novas tecnologias, alterações de *layout* ou estudo e resolução de fatores externos que possam estar a influenciar o bom funcionamento do sistema. Quando elevada a restrição, espera-se que esta seja eliminada e, tal como no passo anterior, fecha-se o ciclo de melhoria contínua voltando ao passo de identificação da nova restrição.

No entanto, antes de um investimento na restrição poderá ser importante reavaliar as razões para que esta não tenha sido eliminada. Para isso, propõe-se a utilização da lógica do *Thinking Process*. Assim, em primeiro lugar deverá ser realizado um *brainstorming* com todas as entidades envolvidas na restrição (e não apenas as entidades que estiveram envolvidas no projeto de Melhoria Contínua) para identificar alguns efeitos indesejáveis e ainda contribuir para a determinação das Causas, seguindo a lógica Causa-Efeito. Após esta reunião deverá ser realizada uma Árvore de Objetivos e uma Árvore de Realidade Atual e localizada a Causa-Raíz que dá origem a pelo menos 70% dos Efeitos Indesejáveis.

Para dar resposta à pergunta do *Thinking Process* “Mudar para quê?” utiliza-se a árvore de realidade futura que, aliada ao *negative branch* que irá permitir mapear as alterações a serem feitas de modo a quebrar o problema. Esta árvore poderá resultar na identificação de ferramentas *Lean Six Sigma* permissíveis de terem sido aplicadas, mas que não foram aplicadas na exploração da restrição ou não foram aplicadas de forma apropriada, neste caso, segue-se na continuação da aplicação da lógica *Thinking Process* em seguida apresentada. No caso de não se ter identificado nenhuma outra forma de melhorar a restrição, a única forma de a eliminar será a elevação da Restrição. Nesta fase, também se recomenda que as várias áreas estejam envolvidas.

A última pergunta do *Thinking Process* diz respeito a “Como mudar?” e são utilizadas as árvores de pré-requisitos e de transição com o objetivo de entender como ultrapassar os obstáculos que poderão surgir em consequências das ações a tomar estabelecidas na FRT, bem como identificar os passos que permitirão implementar estas ações.

Tabela 3.7 - Modelo proposto (5ª Fase)

Ferramentas Sugeridas	Representação da 5ª fase do modelo
<ul style="list-style-type: none"> VSM; Cálculo da capacidade efetiva; Simulação (ex: Arena Simulation) Árvore de Objetivos; Árvore de Realidade Atual; Árvore de realidade Futura e Negative Brunches; Árvore de pré-requisitos, árvore de transição e árvore S&T 	<pre> graph TD A[Reavaliação da restrição] --> B{A restrição foi eliminada?} B -- Sim --> Exit1(()) B -- Não --> C[Aplicação da lógica Thinking process fase1] C --> D{Foram identificados erros de aplicação ou novas oportunidades de melhoria?} D -- Sim --> E[Aplicação da lógica thinking process fase 2] D -- Não --> F[Elevação da restrição] F --> A </pre>

Capítulo 4 Introdução ao Caso de Estudo

Este capítulo é dedicado à apresentação do caso de estudo, iniciando-se com a caracterização da indústria em que a empresa em estudo se insere, a indústria automóvel, distinguindo a sua situação a nível internacional e, especificamente a nível nacional. Seguindo-se a apresentação e caracterização da empresa em estudo, Visteon Portuguesa.

O último subcapítulo do estudo caracteriza o processo em estudo, fazendo uma pequena abordagem da fábrica e da área em estudo e focando-se mais na própria linha em estudo, apresentando os produtos nela montados e caracterizando o processo produtivo.

4.1. Caracterização da Indústria Automóvel

Como referido, será em seguida apresentada a evolução e atual situação desta indústria quer a nível internacional, quer a nível nacional.

4.1.1. A Indústria Automóvel no Mundo

A evolução da indústria automóvel, a nível global, caracteriza-se pelo seu forte crescimento desde a produção artesanal característica do ano 1890, pela P & L que produzia apenas centenas de automóveis por ano. Surge então a época da produção em massa, a partir de 1903, por Henry Ford que conseguiu reduzir drasticamente os custos, bem como aumentar a qualidade do produto. Ainda nesta época de produção em massa assiste-se a uma grande mudança de 1913 para 1914, com a transição da montagem estacionária para a móvel permitindo uma grande redução no tempo de ciclo da montagem de um automóvel (Womack, J. & Jones, D. & Roos, D., 1990).

Nos anos 50, no Japão, surge por Taiichi Ohono o conceito de *Lean Manufacturing* ou, em português, Produção Magra. Este conceito teve origem no TPS – *Toyota Production System*, com o objetivo de aumentar a eficiência das linhas, minimizar a variação dos processos produtivos, eliminar desperdícios e reduzir custos operacionais (Lago, & Carvalho, 2008).

Entre os anos 1975 e 2007, a indústria automóvel caracterizou-se por um grande aumento, evoluindo de 33 milhões de veículos produzidos para 73 milhões, o que se deveu à abertura de novos mercados, tais como Ásia (nomeadamente China, Índia e República da Coreia), América Latina (principalmente nos países Brasil e México) e Este da Europa (com especial enfoque na Rússia) (Sturgeon, Memedovic, & Street, 2009).

O gráfico da figura 4.1 representa o número de veículos produzidos, a nível mundial, em 2016, segundo o estudo de 2017 da Organização Internacional dos Construtores Automóveis OICA (2019). Pela análise do mesmo é possível constatar que a Ásia e Oceânia representam mais de 50% dos veículos produzidos anualmente (51,8 milhões), sendo o mercado Chinês o maior contribuidor, com 28,1 milhões do total produzido.

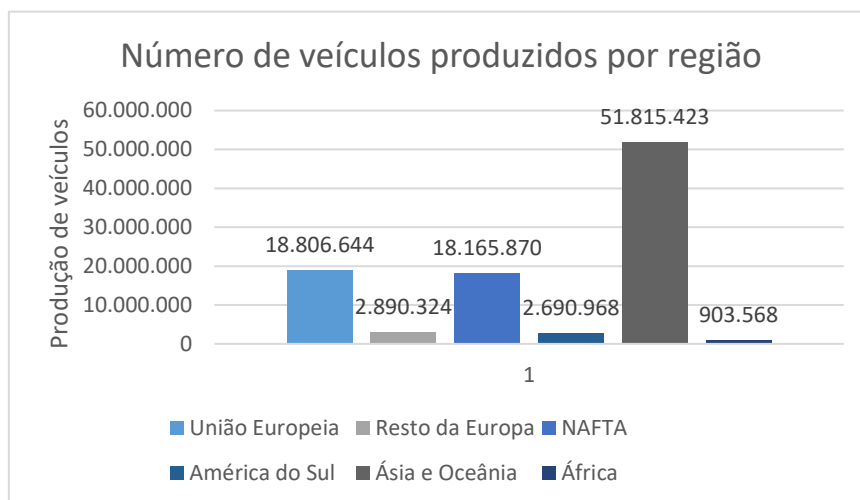


Figura 4.1 - Número de automóveis produzidos mundialmente (2016)

4.1.2. A Indústria Automóvel em Portugal

A indústria automóvel evoluiu muito desde as décadas caracterizadas pela mão-de-obra pouco qualificada e com fracos recursos a nível tecnológico. Atualmente, esta indústria é considerada um pilar importante da economia portuguesa, contribuindo fortemente para o PIB português (5,9% do PIB e emprega 72 mil pessoas) sendo o fabrico de componentes para automóveis um dos setores com maior peso desta indústria. (AICEP, 2016; Autom & Estudo, 2016; Vale, n.d.).

Segundo A. Vale (2013), a história da indústria automóvel portuguesa pode dividir-se em três fases:

1. 1961-1976: época do Mercado Protegido que se caracterizou por um ciclo económico de restrição às importações, através da criação da “Lei da Montagem” que proibia a importação de veículos completamente produzidos e exigia que os automóveis fossem montados localmente. Assim, foram criadas várias fábricas de montagem de veículos que montavam uma grande diversidade de marcas e modelos, em pequenas séries. Para além de contribuir para uma ineficiência do ponto de vista económico, assistiu-se ainda à inexistência de uma indústria de componentes, o que levou à criação de várias empresas artesanais de peças com baixos níveis de qualidade e reduzidas competências tecnológicas.

2. 1977-1988: primeira abertura do Mercado: no final da década de 70 foi lançado um concurso, por parte do Governo, para a instalação de construtores europeus e internacionais em Portugal. Em 1980 foi então fundada a unidade de motores e de caixas de velocidade de Cacia (Renault) e a linha de montagem de Setúbal (Renault).

3. Desde os anos 90: globalização tem-se vindo a assistir, cada vez mais, a uma forte abertura ao mercado Europeu e Global. O desenvolvimento da rede Ford-Volkswagen possibilitou

aos fornecedores a consolidação de competências ao nível do custo, qualidade e prazo, bem como regras de funcionamento da indústria automóvel e desenvolvimento de conhecimentos de engenharia de processo.

Portugal encontra-se na lista de cerca de 40 países fabricantes mundiais de automóveis existindo quatro fábricas a operarem atualmente no país: Mitsubishi Fuso Truck Europe, PSA Peugeot Citroen, Toyota Caetano e Volkswagen Autoeuropa. Para além destas quatro fábricas existem centenas de fábricas que produzem componentes automóveis, entre as quais Continental, Delphi, Faurecia, Renault Cacia, Bosch e Visteon (AICEP, 2016)

Esta indústria destaca-se pela sua grande importância em termos globais, sendo responsável por um volume de negócios de 6,5 mil milhões de euros.

4.2. Caracterização da Empresa – Visteon Corporation

O caso de estudo foi realizado na empresa Visteon Corporation, concretamente na fábrica de Palmela. Em seguida serão abordados temas como a história da Organização, os países onde tem atividades e os seus principais produtos e Clientes.

A Organização Visteon Corporation surgiu em 1989, inicialmente com o nome Ford Eletrónica, devido a um aumento substancial das vendas de, aproximadamente, 8,5% da Ford Motor Company. Foi também em 1989 que a empresa investiu 120 milhões de dólares em Portugal a fim de constituir a fábrica de Palmela, iniciando a sua produção em Portugal e criando 1700 postos de trabalho em 1991.

Entre os anos 1992 e 1995, a Ford Eletrónica Portuguesa foi alargando a gama de produtos, e em 1997, a Ford Motor Company agrupou todo o sector de componentes para automóveis criando a Organização denominada de Visteon. E em 1998 a Visteon expandiu-se criando novas áreas de negócio e lançando a fábrica de compressores (ar condicionado para automóveis) e a fábrica de plásticos. 28 de junho de 2000 é a data que assinala a completa independência da Visteon. Atualmente, a Visteon Corporation é líder no fornecimento de componentes eletrónicos do cockpit e de sistemas de condução autónoma aos fabricantes de automóveis no mundo. Com 3.15 Biliões de vendas anuais, conta já com mais de 10 000 empregados e com presença em 18 países (com 19 fábricas e 18 centros técnicos).

A Organização possui uma vasta carteira de produtos, nomeadamente, Clusters, Head-up displays, Information Displays, produtos de Áudio e, recentemente, Cockpit Domain Controllers e Autonomous Driving Platform.

A empresa conta ainda com um conjunto de 25 clientes da indústria automóvel nomeadamente a Ford, a Renault/Nissan, a Mazda, a BMW, a Volkswagen, entre outras.

Especificamente a Fábrica de Palmela emprega um total de 1039 empregados nas áreas de negócio Eletrónica e Plásticos, que contam com o suporte dos departamentos: Manufatura; Qualidade e Sistemas; Material, Planeamento e Logística (M P & L); Finanças; Recursos Humanos e Áreas Internacionais.

4.3. Caracterização da Fabricação em Estudo

Neste capítulo será apresentado o processo em estudo, começando por fazer uma breve caracterização da fábrica, serão em seguida apresentados os produtos da linha em estudo, explicitados todos os processos de transformação das placas, representando-os num fluxograma.

4.3.1. Caracterização da Fábrica e Produtos da Linha em Estudo

A produção está dividida em 4 áreas de produção. Em seguida serão enumeradas cada uma das áreas de produção e brevemente explicitadas:

1. Injeção: responsável pela produção de componentes através do processo de injeção;
2. *Pre-assembly*: onde são realizadas algumas pré-montagens dos produtos provenientes da área de injeção;
3. *Board Preparation* (ou *Board Prep*): responsável pela montagem e teste das placas PCB's. Esta terá sido a área onde foi realizado o caso de estudo, concretamente na linha 2;
4. *Final Assembly*: onde são realizadas as montagens finais de componentes e testadas antes de seguir para o cliente.

As áreas anteriormente referidas têm associadas 5 armazéns nomeadamente Armazém de Matéria-Prima, Armazém de Injeção, Armazém *Pre-Assembly*, Armazém *Incoming* e Armazém da Produção.

Os produtos fabricados na linha em questão são PCB's (Printed Circuit Boards), isto é, são placas que suportam e conectam componentes eletrónicos. Componentes estes que têm como particularidade serem soldados através de processos SMD, que serão posteriormente explicitados.

A linha em estudo dedica-se à preparação e testes de placas PCB's de vários produtos, nomeadamente: Inverter Cliente 1, Inverter Cliente 2, NGI e Upper Display. São também realizadas produções ocasionais de produtos para serviços, que não serão abordados neste estudo devido à rara utilização da linha para estes fins.

A fim de entender o que distingue cada um dos produtos serão em seguida explicitados a finalidade e o funcionamento de cada um dos produtos.

4.3.1.1. Inverters

Um inversor é um dispositivo elétrico com a capacidade de converter um sinal do tipo CC (corrente contínua) para um sinal do tipo AC (corrente alternada). Este processo consiste em converter as baixas tensões contínuas de baterias, numa tensão alternada com valor elevado de modo a polarizar dispositivos pertencentes à rede de energia.

Estes produtos pertencem à área de *Powertrain and Security*, e são acoplados ao motor do ar condicionado do veículo, apenas em modelos elétricos, pois as baterias são de corrente contínua e o motor do ar condicionado é de corrente alternada e, desta forma, o *inverter* é responsável por fazer esta conversão.

O sistema inversor é responsável por ajustar a potência aplicada, variando a velocidade de rotação do compressor, conforme as necessidades de climatização de um determinado espaço. Assim, quando a temperatura possui um valor superior ao pretendido, a velocidade do motor do compressor é incrementada através do controlo da frequência de operação do mesmo, assegurando o ajuste rápido da temperatura. Após a temperatura atingir o valor pré-definido, a frequência de operação do compressor e as alterações de temperatura são monitorizadas para que se possa calcular a forma de onda mais eficiente, de modo a manter a temperatura na zona delineada.

Na figura 4.2 disponibiliza-se a vista explodida do produto *inverter*, onde *PWB* é a placa PCB produzida na linha 2.

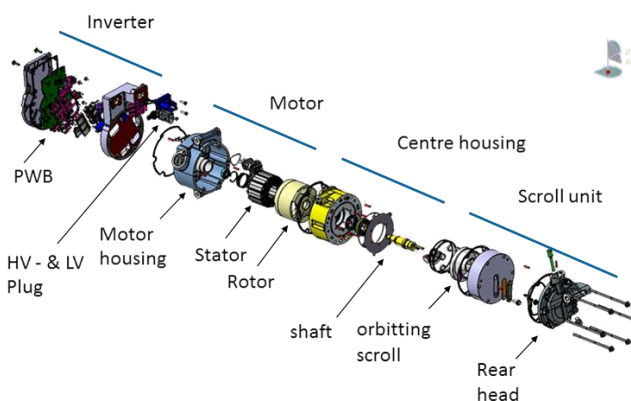


Figura 4.2 - Vista explodida de um inverter

4.3.1.2. NGI – Next Generation Interface

Os NGIs são ecrãs de informação que são colocados no centro do *cockpit* ou na traseira dos bancos. Os ecrãs que são colocados no centro do *cockpit* transmitem informações ao condutor relacionadas com o controlo da climatização e com o controlo do rádio, permitem aceder a funcionalidades como o telefone ou o sistema de navegação. Os ecrãs colocados na traseira dos bancos da frente normalmente são utilizados para ver filmes, televisão, aceder a jogos ou a

informações relacionadas com o sistema de navegação. Estes ecrãs podem ainda ser táteis ou visuais. Na figura 4.3 é possível observar a visão explodida de DOIs dos modelos produzidos de NGI, D 37 (à esquerda) e AJP (à direita).

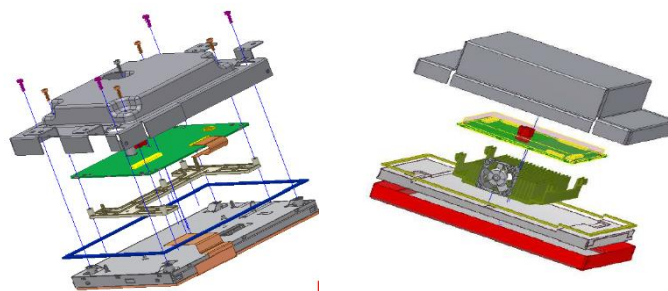


Figura 4.3 - Vista explodida de NGI D 37 e NGI AJP

4.3.1.3. *Upper Displays*

Os *Upper Displays* são pequenos ecrãs colocados ao nível dos olhos do condutor e que lhe transmitem informações como velocidade atual do automóvel, estação de rádio selecionadas ou indicações relativas ao sistema de navegação do veículo, entre outras informações e funcionalidades. Na figura 4.4 é possível observar a vista explodida do produto *upper display* em que a placa verde é a placa preparada na linha 2.

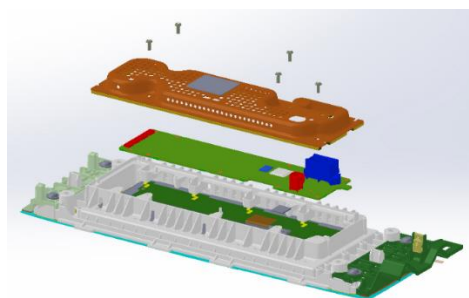


Figura 4.4 - Vista explodida de um upper display

4.3.1.4. Apresentação dos modelos em produção

Como referido, são produzidos vários modelos de cada um dos produtos. Em seguida serão apresentados, para os três produtos referidos cada um dos seus modelos.

Assim, no caso do *Inverters*, são preparadas as placas PCB dos *Inverters* para DOIs clientes finais distintos, que serão futuramente abordados como *Inverters 1* (com 3 modelos distintos) e *Inverters 2* (com 3 modelos distintos), por razões de confidencialidade. De referir que entre os modelos 77C, 78C e 79C existem apenas diferenças de *software* pelo que não existem diferenças no que diz respeito ao processo produtivo.

No que diz respeito aos NGI, são preparadas as placas PCB de 8 modelos de ecrãs NGI que se distinguem entre ecrãs frontais, colocados no centro do *cockpit*, ou ecrãs traseiros, colocados

na traseira dos bancos da frente. Dentro destes DOIs grupos existem ainda ecrãs com 8 ou 10 polegadas. No caso dos ecrãs frontais, existem ainda duas variantes: *Single View* e *Dual View*. De referir ainda que os modelos com descrição igual, 56 A, AJQ e AIE, e AJP e AJS, distinguem-se apenas por questões de *software* que em nada afetam o sistema em estudo.

Por último, são preparadas as placas PCB de *Upper Displays* num único modelo para apenas um Cliente.

Assim, na tabela 4.1 é possível verificar os diferentes modelos, de cada produto, produzidos na linha. De notar que, consoante o modelo, uma placa mãe pode ter entre duas a quatro filhas, assim, nesta tabela disponibiliza-se ainda o número de filhas em cada placa de cada modelo em produção.

Tabela 4.1 - Modelos em produção e número de filhas por placa

Produtos	Modelos em produção na Linha 2	Número de filhas em cada placa mãe
Inverter 1	77 C	2 Filhas
	78 C	2 Filhas
	79 C	2 Filhas
Inverter 2	2 A 9	2 Filhas
	3 A 9	2 Filhas
	4 A 9	2 Filhas
NGI	56 A, AJQ e AIE (ecrã traseiro, com 10 polegadas e capacidade <i>single view</i>)	4 Filhas
	AJP e AJS (ecrã frontal, com 10 polegadas e capacidade <i>dual view</i>)	2 Filhas
	D 37 (ecrã frontal, com 8 polegadas e capacidade <i>single view</i>)	4 Filhas
	AJR (ecrã traseiro, com 8 polegadas e capacidade <i>single view</i>)	4 Filhas
	D 38 (ecrã frontal, com 10 polegadas e capacidade <i>single view</i>)	4 Filhas
Upper Display	QTG	3 Filhas

4.3.2. Caracterização dos Processos de Transformação das Placas PCB

A linha em estudo é uma linha com configuração em U e que se classifica, segundo a diversidade de produtos como uma Linha multimodelos.

Por outro lado, o processo caracteriza-se como descontínuo com produção por lotes assim, quando os lotes necessários de determinado modelo são concluídos fazem-se as devidas alterações às máquinas para os próximos lotes de determinado modelo a produzir, sendo essencial conseguir realizar as devidas alterações rapidamente.

O processo classifica-se como sendo descontínuo e dentro deste como tendo produção por lotes. O volume de cada item produzido não é suficientemente grande para que se dedique um conjunto de máquinas à sua produção, portanto os vários tipos de placas partilham as mesmas máquinas. Quando os lotes necessários de um determinado tipo de placa são concluídos alteram-se as configurações das máquinas para os próximos lotes, de uma placa diferente, a produzir. Portanto neste tipo de processos é importante a rapidez com que se consegue alterar as configurações das máquinas de modo a não perder muito tempo neste tipo de atividade (Dilworth, 1996). Este tipo de produção apresenta como principais vantagens: uma melhor utilização das máquinas e do espaço disponível, flexibilidade para produzir vários tipos de produtos possibilitando por exemplo o fabrico de um novo produto e promove a especialização dos trabalhadores, pois estando estes alocados a uma determinada área é normal que após anos de experiência comecem a realizar as suas tarefas de modo otimizado (Kumar et al., 2008).

O fluxo de processos que caracteriza a linha em estudo encontra-se disponível na figura 1 em Anexos B.

Em seguida são brevemente explicados cada um dos processos

- Dispensador de Placas: Dispensa placas ao *conveyor* da linha, depois de serem alimentadas manualmente, por um operador, em conjuntos de 50 placas;
- Aplicador de Labels: este processo é realizado por um robô que coloca *labels* nas placas a serem produzidas. Estas *Labels* têm a informação sobre o produto, o modelo e a placa PCB onde serão feitas as próximas transformações;
- Processo SMD: após a aplicação de *Labels* nas placas inicia-se o processo SMD propriamente dito. Este processo surge como opção ao tradicional PTH - *Pin Through Hole* que consistia em furar a placa onde os terminais dos componentes seriam inseridos e, depois, soldados. O PTH é cada vez menos utilizado uma vez que não permite a preparação de placas com elevada complexidade.

Por outro lado, um processo SMD (*Surface Mount Device* – Montagem de Dispositivos à superfície), ou SMT (*Surface Mount Technology* – Montagem de Tecnologia à superfície), é uma tecnologia de fabricação de placas eletrônicas PCB que permite otimizar processos e reduzir custos através da automatização do processo, e da diminuição da interferência humana, que faz com que as falhas sejam reduzidas. Este processo passa pela colocação dos componentes à superfície, através da colocação uniforme de solda, da inserção dos corretos componentes, normalmente com o auxílio de um Inseridora, de um processo de refusão e, por fim, um processo de inspeção.

Em seguida apresenta-se um esquema (figura 4.5) com os vários passos de um processo SMD que serão futuramente explicitados.

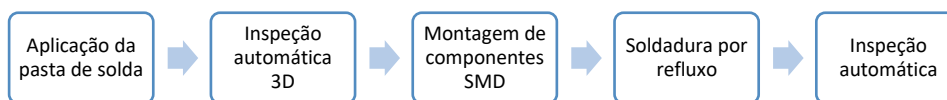


Figura 4.5 - Passos do processo SMD

- Aplicação da pasta de Solda: A colocação da pasta de solda é feita de acordo com determinado *stencil*, que é específico para cada produto. Neste ponto inicia-se um processo de soldadura *Reflow*, isto é, um processo de solda por refusão que une os componentes eletrónicos colocados por SMD à placa de circuito impresso. Ainda de referir que através da máquina da linha em causa responsável pela colocação de solda é possível saber o número de placas processadas, impressas, aceites e a percentagem de aceites, bem como informações sobre os estados de limpeza da máquina e ainda o tempo de ciclo médio do processo de colocação de solda;
- Inspeção automática 3D: é o processo de inspeção que verifica se a área, o volume, a altura e os desvios em X e Y de solda na placa, estão conforme os valores pré-definidos. Esta máquina refere ainda o tipo de defeito ocorrido, nomeadamente, solda em excesso, solda insuficiente, posição errada da solda, preenchimento incompleto, brilho, formação de abas, altura elevada ou reduzida entre outros. A máquina da linha 2 fornece ainda informações como o produto e o modelo em produção, bem como o PWB da placa (código de identificação de cada placa) e a hora em que esta passa pela máquina.
- Montagem de componentes SMD: Este processo utiliza um equipamento (a insersora) para a coleta e inserção dos componentes corretos na posição certa. Para tal, a máquina é programada com as coordenadas de acordo com o produto e o modelo, bem como com a placa em produção.
Estas máquinas são alimentadas por um conjunto de *reels* que podem ou não ser alterados cada vez que há um *Changeover*. Esta alteração é feita pela alteração dos carros que têm o conjunto de *reels* para cada modelo ou produto. Existem carros que são utilizados para mais do que um produto e modelo.
O conjunto de insersoras da linha em questão tem ainda a capacidade de gravar o produto, o modelo, o PWB da placa e a hora em que esta é processada.
- Soldadura por refluxo: numa linha de montagem SMD os componentes só ficam soldados à placa PCB quando passam por um forno de refusão. O processo de soldadura por refluxo passa por pré-aquecer a placa PCB, curar a pasta de solda, ativar o fluxo, fundir a pasta de solda e, finalmente resfriar a placa com os componentes soldados. Para tal, programa-se o forno de refusão de acordo com

um perfil térmico específico (tendo em conta as características do forno, da placa PCB, dos componentes a serem soldados e do tipo de pasta de solda), tal como exemplificado no gráfico da figura 4.12.

- Inspeção automática: Em seguida é feita uma inspeção através de uma máquina de *Automated Optical Inspection* (AOI), que verifica a qualidade das placas e dos respetivos componentes, através de uma inspeção visual. Caso não seja identificado nenhum defeito pela AOI, a PCB continua o processo produtivo. Por outro lado, caso seja identificado algum defeito pela máquina, as placas ficam em espera num processo LIFO (*last in first out*) até um operador retirar a placa para verificar o defeito. Para tal, em primeiro lugar, o operador leva uma das placas para a secretária de trabalho, lê a label da placa e verifica o tipo de defeito dado pela AOI. Com o auxílio do microscópio e por comparação com imagens dadas no monitor da secretária de trabalho verifica se existe ou não um verdadeiro erro já que esta máquina é minuciosa ao ponto de rejeitar placas, por exemplo, por algum brilho de algum componente. Assim, caso o operador verifique que se trata de um “falso rejeito”, o operador volta a passar a placa pelo AOI. Caso verifique algum defeito, e caso conclua que se trata de um defeito reparável, segue para a reparadora, caso contrário sai do processo.
- Inversão da placa: nesta estação a máquina apenas inverte a placa e o processo SMD é recommçado, mas na superfície contrária à anteriormente trabalhada (lado *Bottom*).
- Separação a meio da placa mãe: algumas placas PCB vêm em conjuntos de mais de duas PCB (a este conjunto de placas PCB numa mesma placa dá-se o nome de *Motherpanel*) que são separadas nesta estação, uma vez que a máquina de MDA só está preparada para ler conjuntos de duas PCB's de cada vez. Este processo é unicamente aplicável a DOIs modelos do NGI: 56 A e D38.
- MDA: *Manufacturing Defect Analyzer* é uma forma de testar as características elétricas dos componentes através de medições de continuidade realizadas nas próprias placas. Se não for identificado nenhum defeito, a placa segue o processo, se for identificado um defeito vai para a estação da reparadora.
- Flashing Software: neste processo é inserido o *software* específico do modelo a ser produzidos envolvendo a conversão de um código para um código de máquina e a gravação desse código na memória da placa PCB.
- Conformal Coating Film: ou, em português, película de revestimento isolante é um processo que só é realizado para os modelos do produto NGI e para o produto *upper display*, que passa por colocar um material de revestimento isolante (de espessura normalmente não superior a 160 micrómetros) que se ajusta aos contornos e

componentes de uma placa PCB. Esta película permite proteger o circuito eletrónico contra a humidade, poeiras, produtos químicos ou temperaturas extremas.

- Conformal Cure: O processo de cura do revestimento é realizado num forno com temperaturas entre os 40° C e os 60° C, durante aproximadamente 5 minutos.
- Desassociação da placa mãe: existe um robô, denominado de singuladora que, de acordo com o modelo em fabrico recorta pelo perímetro da peça, separando assim a placa mãe da placa PCB que vai para o *Market Place* da linha.
- Aplicação de cola automática: atualmente este processo é realizado fora da linha 2, na linha 3, tal como é possível verificar pela Planta presente em Anexos B (figura 2), no entanto, pertence ao processo de transformação dos *Inverters* sendo esta a razão para que depois de processados pela singuladora não seguirem diretamente para o *Market place* da linha, como acontece com as placas do NGI e do *Upper Display*.

Este processo passa então por, depois de passadas pela singuladora, as PCB são recolhidas por um Operador, arrumadas num tabuleiro e transportadas até a uma outra linha onde serão finalizados. Nesta linha, o operador coloca duas PCB numa máquina responsável por colocar algumas gotas de cola e secá-las numa câmara ultravioleta (UV). De seguida, numa prensa automática, são colocados os varistores em falta na placa.

Alguns *Inverters* não passam por estes DOIs processos. Assim, o modelo 4A9 passa apenas pelo processo de colocação de cola, os modelos 2A9 E 87A são modelos que só passam pela colocação dos varistores em falta. Os restantes modelos passam pelos DOIs processos, primeiro pela colocação de cola e, depois, pela colocação dos varistores.

Capítulo 5 Implementação do Modelo TLS

Proposto

No presente capítulo serão apresentados os principais passos realizados para a implementação do modelo TLS proposto, seguindo as cinco fases principais do modelo em causa.

5.1. Recolha e Tratamento de Dados e Caracterização do Sistema (1ª Fase)

O sistema em estudo começou a ser exposto no capítulo anterior da dissertação, caracterizando o sistema relativamente aos produtos em produção, aos processos que o compõem, à força laboral, entre outros pontos considerados cruciais para compreender totalmente o processo. Também nesta fase foi apresentado o Diagrama de Processos representativo do sistema em causa. Neste subcapítulo será descrito o processo de recolha e tratamento de dados que permitiu obter os dados para a construção do *Value Stream Mapping*, o desenvolvimento do modelo de Simulação e o estudo de capacidade que permitirão não só caracterizar o resto do sistema mas também identificar a restrição, no próximo passo do subcapítulo seguinte.

5.1.1. Obtenção dos Dados

Atualmente a fábrica utiliza DOIs sistemas de dados, o *CIM* e o *Qlik View*. A principal diferença entre os DOIs é que o primeiro é utilizado para o controlo da atual produção em cada linha e o respetivo *FTT*, o segundo sistema é, por outro lado, utilizado como uma ferramenta de análise de falhas.

Assim, algumas das máquinas da linha enviam os dados, ao segundo, para o sistema *CIM*. Este sistema apresenta, graficamente, o número de produtos produzidos, o modelo produzido e o *FTT* da linha, à hora, diariamente ou mensalmente. Já o *Qlik View* recolhe os dados de algumas das máquinas a cada 30 minutos e, depois de trabalhados, é possível analisar para cada produto as falhas ocorridas, a razão da falha, a hora da falha, a máquina em que a falha foi detetada e o número de vezes que a placa passou pelo sistema de controlo de falhas em causa.

No entanto, como referido só algumas das máquinas enviam dados para o sistema, pelo que não foi possível recolher dados históricos para cada máquina de modo a obter um tempo de ciclo médio para cada processo. Assim, optou-se por realizar uma recolha de dados por cronometragem segundo a lógica, de Dilworth (1989).

Segundo este autor, para conhecer o tamanho aceitável da amostra é necessário seguir a seguinte equação:

$$n = \left(\frac{Z \times \bar{S}}{A \times \bar{x}} \right)^2$$

Para este cálculo considera-se uma distribuição normal para os tempos de produção observados em que n representa o número de observações necessárias, A o erro a assumir, Z o intervalo de confiança considerado, \bar{S} o desvio padrão estimado e \bar{x} o valor médio dos tempos recolhidos.

Em primeiro lugar recolhem-se trinta medições, com as trinta medições realizadas, verifica-se se, para cada atividade, o tamanho da amostra é o suficiente para garantir um intervalo de confiança de 99% e um erro inferior a 1,5%. Tais valores foram considerados pertinentes por todos os processos serem realizados por máquinas e robôs cuja intervenção humana consiste apenas na alimentação das máquinas com as devidas matérias-primas.

Para a atividade de cronometragem, para cada modelo e para cada processo, as máquinas tinham que estar completamente alimentadas, a linha livre a jusante e, caso existisse alguma paragem por encravamento da máquina ou falta de componentes, esse tempo não é contabilizado.

No que diz respeito à cronometragem das operações necessárias às mudanças de *setup*, considerou-se pertinente o cálculo do número mínimo de amostras tendo em conta um intervalo de confiança de 95% e um erro de 15%, já que esta atividade tem associada elevada variabilidade por ser realizada por operadores que, embora experientes, rodam entre si as suas posições pelo que não seguem sempre o mesmo papel em todos os *changeovers* realizados na linha. Para além disso, grande parte das operações de *changeover* são manuais ou têm uma forte intervenção humana.

Em Anexos C, nas figuras 1 a 11 disponibilizam-se todas as folhas de registo utilizadas para a cronometragem de cada um dos modelos, explicitando ainda a média, o desvio padrão e o número mínimo de observações calculadas para cada um dos processos. Da mesma forma apresenta-se também a folha de cronometragem, na figura 12 de Anexos C, utilizada nos processos de *Changeover*.

De notar que, no caso dos produtos D37 e AJR existem duas folhas de cronometragem. Tal acontece porque constatou-se que os modelos do produto NGI 8 *Single View* apresentavam elevada variabilidade no processo de cura do lado *top* das placas. Após uma análise cuidada deste processo constatou-se que tal acontecia porque o forno assumia tamanhos de placas diferentes para o mesmo produto, uma vez que algumas placas prendiam no *conveyor* anterior ao forno. Com a ajuda da equipa técnica foi possível alinhar o *conveyor* com a entrada do forno de modo a que não existissem tantas placas a prenderem antes do forno. Obtendo-se assim valores menos variáveis e tamanhos de placas assumidas no forno mais próximas, como é possível observar tanto

pela análise das figuras 5.1 e 5.2, relativas ao antes e depois das alterações realizadas, como pela análise das folhas de cronometragem antes e depois das alterações no *conveyor* dos fornos.

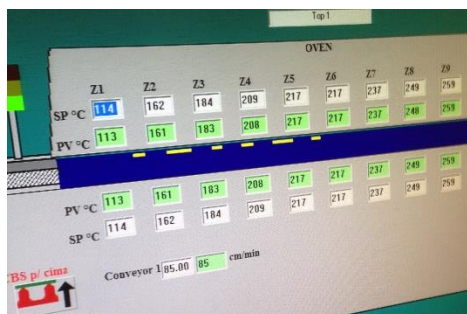


Figura 5.1 - Ecrã do forno antes da mudança

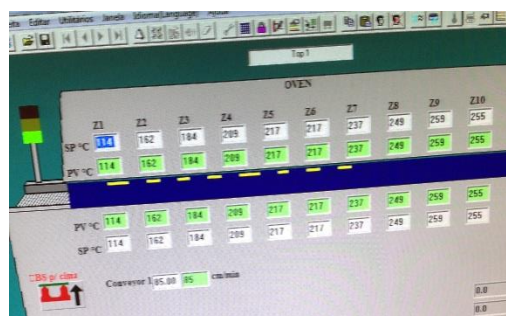


Figura 5.2 - Ecrã do forno após a mudança

5.1.2. Tratamento dos Dados Recolhidos

Após a recolha dos tempos de ciclo e dos tempos de *Changeover*, com o objetivo de, não só constituir um *input* válido para a conceção do modelo de simulação, mas também a identificação dos processos da linha com maior variabilidade entre modelos, foi necessário aplicar o modelo de Lucas & Tenera (2014), já apresentado.

Este modelo permitirá verificar se existem diferenças significativas na duração das operações consoante o modelo/referência a processar. Caso se verifique que as mesmas não existem, ou que estatisticamente não são significativas, os dados podem ser agrupados, constituindo famílias de produtos que representarão a variabilidade através de uma distribuição de probabilidade. Caso se verifique que não é correto este agrupamento, será necessário encontrar, para cada operação, uma distribuição estatística representativa do tempo de processamento do modelo em causa.

Assim este sub-capítulo, intitulado de Tratamento dos dados recolhidos, terá duas fases. A primeira diz respeito à verificação dos modelos que são significativamente diferentes entre si. A segunda fase tem como objetivo ajustar os tempos de ciclo recolhidos à distribuição estatística que melhor represente a variabilidade a eles inerente.

Explicitada a metodologia que será seguida para o tratamento dos dados será agora importante referir quais os modelos que serão comparados entre si. Para tal a tabela 5.1 representa o tempo médio observado para cada um dos modelos, de cada uma das máquinas.

Pela análise desta tabela conclui-se que serão comparados os quatro modelos de *inverter* em todas as operações em comum entre os mesmos.

Relativamente ao processo de colocação de *labels* verifica-se que os tempos médios observados são muito próximos para os modelos que têm o mesmo número de filhas em cada placa, isto é, para os modelos D37, AJR, D38 e AJQ, AIE e 56 A que têm todas 4 filhas o tempo de colocação de 4 etiquetas será aproximadamente o mesmo. Pelo que neste processo serão comparados todos os modelos com quatro filhas e todos os modelos com duas filhas.

No caso dos produtos NGI, os DOIs modelos de NGI 8 *Single View* (D 37 – Ecrã frontal e AJR – Ecrã traseiro) e os DOIs modelos de NGI 10 *Single View* (D38 – Ecrã frontal e AJQ, AIE e 56 A – Ecrã traseiro) serão comparados. No entanto existem operações que, devido à elevada diferença que existe entre os TMO só é feita a comparação estatística para os modelos do NGI 10 *Single View*, nomeadamente a colocação de componentes pelas SMDs *Placement* 1 e 2.

Para o caso da cura da solda no forno do lado *top*, a análise estatística será realizada para todos os NGI, incluindo o modelo AJP/AJS, o que não acontece no forno do lado *bottom* em que se estudam todos os modelos em conjunto, à excepção do AJP/AJS. Tal decisão deve-se ao facto de o programa inserido nos fornos ser o mesmo para estes conjuntos de modelos, respetivamente.

Finalmente, no caso da Divisão a meio da placa mãe será feito o estudo estatístico para os únicos que passam por este processo, isto é, os DOIs modelos de NGI 10 *Single View*.

Tabela 5.1 - Tempo médio observado para cada um dos modelos

Operação/modelos	<i>Inverters</i>				NGI's					<i>Upper Display</i>
	77C/ 78C/ 79C	2 A9 / 87A	3A9/ 88A	4A9/ 89A	56A/ AJQ/ AIE	AJP/ AJS	D38	AJR	D37	QTG
Colocação <i>labels</i>	22,04	21,19	21,22	21,31	30,94	21,26	30,90	30,95	30,93	26,04
Colocação de solda lado <i>top</i>	22,34	21,10	21,17	21,16	24,63	22,59	43,49	23,25	23,41	21,76
SPI	15,45	17,21	15,88	15,32	22,18	17,50	23,21	21,20	21,55	18,77
SMD Placement - AX5	26,98	27,22	27,72	27,29	41,88	30,10	42,36	24,48	27,96	31,58
SMD Placement - AX5	23,27	23,32	23,11	23,26	39,83	21,07	40,05	21,74	27,60	27,78
SMD Placement - Iflex	17,12	18,54	18,51	17,41	28,82	25,15	29,06	19,70	19,76	15,16
Colocação de componentes à superfície <i>top</i>	67,37	69,09	69,34	67,97	110,5	76,33	111,4	65,92	75,32	74,51

Tabela 5.1 - Tempo médio observado para cada um dos modelos (continuação)

	<i>Inverters</i>				NGI's					<i>Upper Display</i>
Operação/modelos	77C/ 78C/ 79C	2 A9 / 87A	3A9/ 88A	4A9/ 89A	56A/ AJQ/ AIE	AJP/ AJS	D38	AJR	D37	QTG
Cura lado top	26,53	28,12	26,45	25,95	26,20	25,52	26,66	26,44	27,10	24,90
AOI	19,50	19,97	19,88	20,44	41,44	27,24	42,09	33,49	33,21	32,75
Tempo de ciclo máximo lado top	67,37	69,09	69,34	67,97	110,5	76,33	111,4	65,92	75,32	74,51
Colocação de solda lado <i>bottom</i>	29,87	28,45	28,72	29,29	32,17	29,06	32,11	26,38	26,48	27,74
SPI	15,96	15,33	15,53	15,69	22,01	15,69	21,79	19,80	19,55	18,25
SMD Placement AX	22,01	23,00	22,42	23,05	25,03	22,18	24,33	16,84	17,11	25,30
SMD Placement AX	22,63	22,40	24,14	25,45	31,66	22,26	30,23	22,42	22,55	18,39
SMD Placement - Iflex (2 EQUIP)	10,84	9,11	9,31	7,91	46,52	17,59	46,24	28,69	28,55	32,27
Colocação de componentes à superfície <i>bottom</i>	55,47	54,51	55,87	56,41	103,2	62,03	100,7	67,95	68,21	75,96
Cura lado <i>bottom</i>	25,93	25,86	26,76	26,07	26,60	23,38	26,38	24,93	23,55	24,86
AOI	26,55	25,05	25,27	32,37	43,97	31,11	44,18	34,68	35,60	34,56
Divisão da placa mãe					21,37		21,72			
Tempo de ciclo máximo lado <i>bottom</i>	55,47	54,51	55,87	56,41	103,2	62,03	100,7	67,95	68,21	75,96
MDA (teste eletrônico)	33,40	36,76	36,99	33,73	31,77	32,08	30,53	42,14	40,82	40,41
Flash (inserção de software)	32,45	32,49	37,03	32,48	17,33	42,84	17,22	19,48	18,53	47,80
Tempo de ciclo máximo de testes	33,40	36,76	37,03	33,73	31,77	42,84	30,53	42,14	40,82	47,80
Conformal Top					27,44	31,98	26,14	57,45	57,63	43,21
Conformal Bottom					34,38	38,47	34,31	58,79	58,72	50,13
Conformal Oven					33,80	38,44	34,20	58,77	58,29	49,85
tempo de ciclo máximo Conformal					34,38	38,47	34,31	58,79	58,72	50,13
Singulação	25,29	26,44	26,39	27,32	18,16	21,19	18,22	22,74	22,84	28,23
colocação com prensa	29,64	26,92	27,11							
colocação cola	93,13		86,44	83,60						
inspeção visual	2,08		2,74	83,60						
Finalização de Inverter	124,8	26,92	116,3	167,2						
Tempo de ciclo máximo	124,8	69,09	116,3	167,2	110,5	76,33	111,4	67,95	75,32	75,96

De acordo com os resultados obtidos foi possível ajustar uma distribuição para cada conjunto de dados e realizar uma tabela síntese disponível em Anexos C, Tabela C 13.

Para ajustar a distribuição utilizou-se o *Input Analyzer* do *software* Arena e verificou-se a validade da aproximação à distribuição segundo o teste de *Kolmogorov-Smirnov*. Para este teste, caso o *p-value* cedido pelo software seja superior a 0,05, então a aproximação é válida.

Neste caso, existiram oito casos em que o *p-value* foi inferior a 0,05, como é possível observar pela tabela 5.2.

Tabela 5.2 - Casos com *p-value* inferiores a 0,05

Operação	Modelo	Distribuição Aproximada	<i>p-value</i> obtido
SMD 2 lado top	3A9	20.4 + WEIB(2.62, 6.01)	<i>p-value</i> <0,01
	D37	24.2 + 4.29 * BETA(5.7, 1.48)	<i>p-value</i> =0,0495
	AJS	19.7 + LOGN(1.37, 0.514)	<i>p-value</i> =0,0105
AOI	2A9 e 3A9	19.3 + 1.24 * BETA(6.37, 6.67)	<i>p-value</i> <0,01
SMD 2 lado bottom	56A	TRIA(29.4, 32.1, 33)	<i>p-value</i> =0,0231
Conformal Top	Upper display	41.7 + 2.3 * BETA(1.84, 1.09)	<i>p-value</i> =0,0229
Conformal Oven	Upper display	47.2 + WEIB(2.74, 8.67)	<i>p-value</i> =0,0166
Colocação cola	77C 78C 79C	NORM(93.1, 0.586)	<i>p-value</i> =0,0234

Em várias reuniões com o departamento de *Six Sigma* da fábrica analisaram-se os dados recolhidos e, através de um *brainstorming*, foram desenvolvidos diagramas de *Ishikawa* (presentes em Anexos C nas figuras C.3 a C.5) a fim de concluir as principais razões para as variabilidades obtidas durante a recolha de dados que fez com que não fosse possível aproximar nenhuma distribuição. De notar que os casos em que o *p-value* é inferior a 0,05 coincidem com os que, na análise do *Current State* do *Value Stream Mapping*, serão identificados como tempo de ciclo muito variável.

Através de gráficos de controlo foram identificados os *Outliers* e retirados da amostra segundo as regras para a deteção de Causas Especiais. Para todos os casos bastou aplicar a regra número 1 “Um qualquer ponto fora dos limites de ação”. À exceção da operação *Conformal Top* do *Upper Display* em que foram identificados 13 pontos seguidos na zona C. Para este caso recolheram-se novos dados, e aproximou-se novamente uma distribuição. Obtém-se assim a tabela final para estes casos:

Tabela 5.3 - Aproximações de distribuições com p-value inferior a 0,05

Operação	Modelo	Distribuição Aproximada
SMD 2 lado top	3A9	$21.8 + 1.87 * \text{BETA}(4.34, 2.77)$
	D37	$27.1 + 1.17 * \text{BETA}(2.06, 1.7)$
	AJS	$\text{NORM}(21, 0.324)$
AOI	2A9 e 3A9	$19.4 + \text{WEIB}(0.663, 4.14)$
SMD 2 lado bottom	56A	$\text{TRIA}(30.3, 32.1, 32.9)$
Conformal Top	Upper display	$\text{TRIA}(43, 43.2, 44)$
Conformal Oven	Upper display	$\text{NORM}(49.9; 0, 178)$
Colocação cola	77C 78C 79C	$\text{NORM}(93.2, 0.446)$

5.2. Identificação da Restrição (2ª Fase)

Após a recolha e tratamento dos dados procedeu-se à identificação da restrição. Assim, tal como no modelo proposto no capítulo anterior, proceder-se-á, em primeiro lugar à representação de um *Value Stream Mapping (VSM)* que ajudará a caracterizar melhor o sistema, em seguida, realizar-se-á um estudo de capacidade para determinar o processo com menor capacidade na linha e, por fim, recorre-se à Simulação da linha em estudo. Assim, a análise dos dados recolhidos passará por três grandes fases: 5.2.1. Criação de VSM e análise do *Current State*, 5.2.2. Estudo de capacidade da linha e 5.2.3. Simulação da linha em estudo.

Através da comparação de resultados obtidos encontrar-se-á a restrição no qual o restante estudo se focará.

5.2.1. Criação do VSM e Análise do *Current State*

Para a criação do VSM foi importante em primeiro lugar compreender como funciona todo o processo e conhecer todo o fluxo de material e informação. Ao representar os fluxos, de material e informação, procedeu-se à recolha dos *Lead Times* e representação no VSM. Em seguida caracterizaram-se as atividades como Atividades com Valor Acrescentado e sem Valor Acrescentado, necessárias e desnecessárias ao processo. De referir que a nomenclatura utilizada para a construção do VSM encontra-se disponível em Anexos C, na figura C 1.

Para a análise do VSM procedeu-se ainda ao cálculo do OEE para cada estação e do *Takt Time*. Note-se que é possível consultar o VSM em Anexos E.

Relativamente ao OEE, procedeu-se a um estudo entre 1 de Março e 2 de Abril em que se recolheram os valores para o cálculo da Disponibilidade, Desempenho e Qualidade.

Relativamente ao *Takt Time*, recolheram-se dados relativamente à procura média mensal da linha dos meses de janeiro a março (35 684 produtos, o que corresponde a 13 075 placas, isto é, em média 1622 produtos e 594 placas, por dia) e calculou-se o tempo disponível no mês, tendo

em conta DOIs turnos de funcionamento e as paragens não requeridas ao mesmo (12 e 8 minutos de pausa em cada turno mais 30 minutos de pausa para a refeição almoço ou jantar). Assim obteve-se os seguintes *Takt Times*, de acordo com as equações abaixo apresentadas: 1,55 segundos por produto, o que corresponde a 4,22 segundos por placa.

$$Takt\ Time\ (por\ produto) = \frac{((8 \times 60 + 30) \times 2) - ((12 + 30 + 8) \times 2)) \times 60}{1622} = 34,03\ seg./produto$$

$$Takt\ Time\ (por\ placa) = \frac{((8 \times 60 + 30) \times 2) - ((12 + 30 + 8) \times 2)) \times 60}{594} = 92,88\ seg./placa$$

De referir que se considerou importante o cálculo do *Takt Time* de acordo com a procura de produto final e de acordo com a procura em número de placas uma vez que os tempos de ciclo recolhidos é por placas até à estação de singulação e por produto após esta estação. Só assim é possível verificar a taxa da procura em que o mercado consegue absorver a quantidade total produzida.

Por análise do valor de *Takt Time* calculado é possível concluir que, segundo a lógica *Lean*, a restrição encontra-se fora do sistema produtivo, isto é, a restrição é o próprio mercado. Neste caso, propõe-se investimento no setor de marketing e vendas e uma revisão ao *mix* de produtos escolhidos para esta linha.

No entanto, em reuniões com a equipa de manufatura concluiu-se que se pretendia aumentar a capacidade da linha, pelo que, mesmo sabendo que a restrição do sistema se encontra no mercado, o foco do estudo será encontrar o CCR (*Capacity-Constrained Resource*), isto é, um não-gargalo que se pode tornar em um gargalo caso o planeamento não seja feito com cuidado, caso ocorra falta de abastecimento ou um atraso no *WIP* (Silva, 2015).

A análise do *Current State* do *Value Stream Mapping* permitiu ainda identificar algumas oportunidades de melhoria, nomeadamente, os processos onde existe maior variabilidade no tempo de ciclo (criando oportunidades de aplicação de metodologias *Six Sigma*), os processos com menor OEE, devido ao reduzido desempenho de alguns equipamentos, e elevados tempos de *Changeover* (potenciando a aplicação da ferramenta *Lean - SMED*). No capítulo seguinte, cada um destes pontos serão abordados e serão apresentadas algumas sugestões de melhoria.

5.2.2. Análise da Capacidade do Sistema

Após se ter concluído que não existia nenhum processo para o qual o *takt time* fosse inferior ao tempo de ciclo e que o foco do estudo seria encontrar o CCR, procedeu-se ao cálculo das Capacidades Reais para cada um dos processos. Para tal teve-se em conta as operações inerentes aos processos (realizadas em série e em paralelo), as três componentes do OEE e a eficiência do operador nas operações manuais (considerada pela empresa 90%).

Assim, procedeu-se ao cálculo do OEE por equipamento e modelo tendo em conta os dados recolhidos durante 1 mês (1 de Março a 2 de Abril). Para a componente da Qualidade recolheu-se o número total de defeitos (rejeições, repetições de trabalho e *scrap*), obtidos em cada equipamento e para cada um dos modelos, versus o número total de peças produzidas. No que diz respeito ao cálculo do desempenho teve-se em conta o tempo de ciclo teórico recolhido, a produção total durante o período referido e o tempo de trabalho. Relativamente à última componente do OEE, a disponibilidade, teve-se em conta o tempo disponível líquido, isto é, o tempo total programado menos as pausas contratuais e o tempo de trabalho, isto é, o tempo disponível menos todas as paragens, programadas e não programadas, nomeadamente as avarias, as reuniões, as mudanças de setup, entre outras.

Com os OEE's calculados, os tempos de ciclo da máquina e do operador recolhidos, obteve-se para cada modelo os tempos de ciclos totais para cada um dos processos. Por fim, e de modo a determinar o tempo de ciclo por placa (e por produto para os processos após a singulação) para cada um dos processos calculou-se o tempo de ciclo total tendo em conta a utilização anual da linha de cada modelo. Assim obtém-se os gráficos das figuras 5.3 e 5.4 com os tempos de ciclo de cada processo, sendo a figura 5.3 o gráfico de todos os processos até à singulação e a figura 5.4 o gráfico referente aos processos de finalização do *inverter*. Neste mesmos gráficos encontra-se ainda o *takt time* (por placa e produto, respetivamente) que, tal como anteriormente referido, é superior a todos os tempos de ciclo.

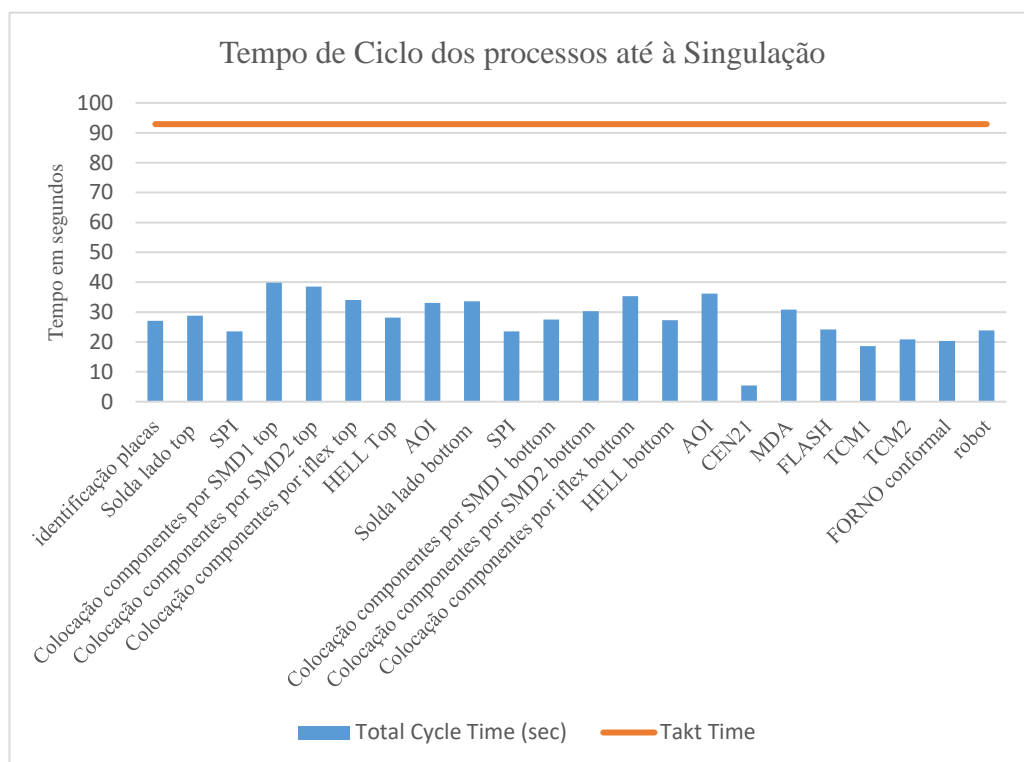


Figura 5.3 - Tempos de Ciclo dos processos até à singulação e *takt time*

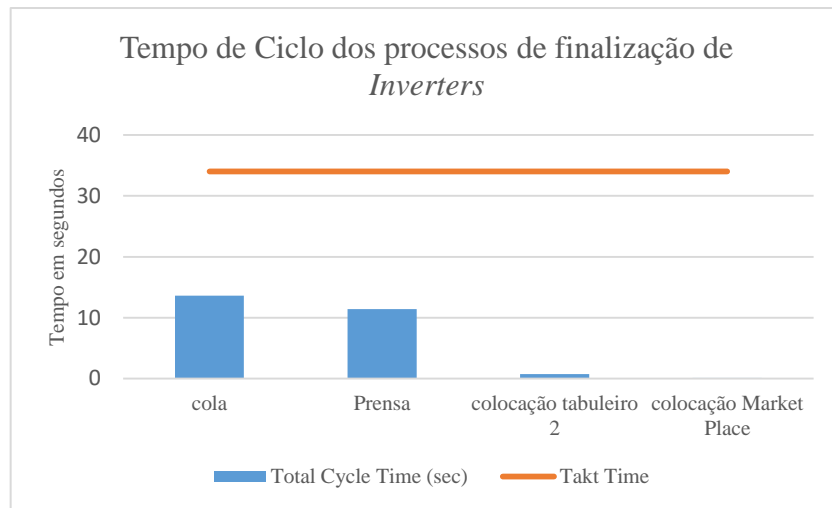


Figura 5.4 - Tempos de Ciclo dos processos após a singulação e *takt time*

Assim, e tal como referido no subcapítulo 5.2.1. Criação do VSM e análise do *Current State*, procedeu-se ao cálculo da capacidade real de cada um dos processos. Uma vez que a capacidade real diz respeito ao número máximo de peças que podem ser produzidas num determinado período de tempo, em condições normais, isto é, tendo em conta o mix de produtos, as paragens planeadas e não planeadas, entre outras questões anteriormente referidas, procedeu-se ao cálculo, para cada operação, da capacidade real, a fim de determinar a operação que possuiria menor capacidade. No quadro da tabela 5.4 disponibiliza-se a capacidade de cada uma das operações e a vermelho encontra-se assinalado o CCR (1ª fase do processo de colocação de componentes, pela SMD1).

Tabela 5 4 - Capacidade total e identificação da restrição

Identificação da estação	Descrição da tarefa	Capacidade total (peças/hora)
OP1	Identificação placas	404,47
OP2	Solda lado <i>top</i>	400,95
OP3	Inspeção por <i>SPI</i>	500,46
OP4	Colocação componentes por SMD1 <i>top</i>	286,68
OP5	Colocação componentes por SMD2 <i>top</i>	305
OP6	Colocação componentes por <i>iflex top</i>	380,6
OP7	Cura da Solda no forno <i>HELL Top</i>	426,57
OP8	Inspeção por <i>AOI</i>	331,33
OP9	Solda lado <i>bottom</i>	360,75
OP10	Inspeção por <i>SPI</i>	505,4
OP11	Colocação componentes por SMD1 <i>bottom</i>	434,32
OP12	Colocação componentes por SMD2 <i>bottom</i>	309,6
OP13	Colocação componentes por <i>iflex bottom</i>	306,03
OP14	Cura da Solda no forno <i>HELL bottom</i>	444,87
OP15	Inspeção por <i>AOI</i>	295,92
OP16	Corte da placa mãe a meio por <i>CEN21</i>	662,03
OP17	Inspeção às condição elétricas por <i>MDA</i>	297,58
OP18	Inserção de <i>software</i> por <i>FLASH</i>	564,89
OP19	Colocação de conformal no lado <i>top</i> por <i>TCMI</i>	388,65

Tabela 5 4 – Capacidade total e identificação da restrição (continuação)

Identificação da estação	Descrição da tarefa	Capacidade total (peças/hora)
OP20	Colocação de conformal no lado <i>top</i> por <i>TCM2</i>	324,86
OP21	Cura do conformal por forno de <i>conformal</i>	333,25
OP22	Singulação por <i>robot</i>	549,13
OP23	Finalização <i>inverter</i>	287,7

5.2.3. Simulação da Linha em Estudo

Para a construção de um modelo de simulação capaz de representar a variabilidade inerente a esta linha foi necessário concluir quatro grandes fases. Em primeiro lugar realizou-se o tratamento dos dados de modo a aproximar a cada uma das operações e modelos uma distribuição. Numa segunda fase procedeu-se à construção do modelo propriamente dito. Em seguida calculou-se o número de replicações e determinou-se o *Warm-up period* a utilizar e, por fim, procedeu-se à verificação e validação do modelo. Neste subcapítulo serão caracterizados todos os passos após o tratamento dos dados realizados no capítulo anterior.

- **Construção do modelo de simulação**

Com os dados tratados, procedeu-se à construção do modelo, representado na figura 5.5. Em seguida proceder-se-á a uma breve explicação de alguns pontos do modelo de simulação criado, marcados na figura em Partes numeradas de 1 a 5.

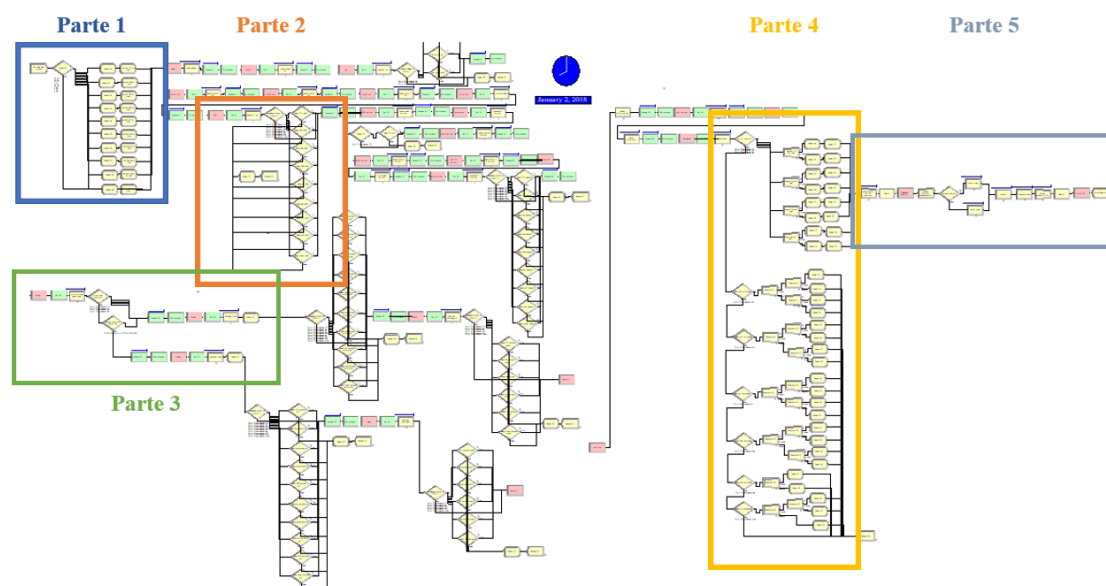


Figura 5.5 – Visão geral do modelo de Simulação desenvolvido

Relativamente à parte 1, para a entrada de placas no modelo, utilizaram-se os dados dos pedidos realizados à área de *Final Assembly* durante 300 dias úteis, à qual foi aproximada uma

distribuição através do *Input Analyzer*. Foi utilizado um módulo *Decide* que separa as placas nos diferentes modelos tendo em conta a percentagem de procura para cada um dos modelos.

Através dos módulos *Station* e dos relativos ao *Conveyor* (*Access*, *Conveyor* e *Exit*) representaram-se todas as estações da linha. No caso das estações responsáveis pelas inspeções na linha, através dos módulos *Decide* teve-se em conta a percentagem de peças falhadas em cada uma das inspeções, de cada modelo, segundo os dados recolhidos pelo sistema CIM, a parte descrita diz respeito à parte 2.

De modo a incorporar no modelo a disponibilidade de cada máquina calculou-se o *Uptime* e o *Downtime* diário para cada uma das estações tendo em conta o tempo médio por dia de mudanças de *setup*, de paragens não programadas como avarias e trocas de *reels*. Para além disso, toda a linha funciona segundo um *Schedule* com as pausas programadas de horas de almoço, jantar e lanche por dia, isto é, para os DOIs turnos.

Na linha em estudo, na fase de carregamento de *software* e testes eletrónicos realizados à placas, no caso de não se tratar de um dos modelos de inverters, as placas seguem para um dos ramais, por onde passam pelo MDA e Flash de um dos lados dos ramais (funcionando a linha em paralelo nesta fase). No caso dos produtos inverters, seguem apenas para o ramal do lado direito. Assim, na parte 3, encontra-se a separação de produtos inverters e não-inverters e, no caso dos não-inverters, as placas seguem para o ramal com menos fila antes do MDA. Para tal utiliza-se um módulo *Decide* e um módulo *Assign* que conta o número de peças no MDA, através da criação de duas variáveis, uma em cada *Assign*.

De referir que após a estação de Singulação utilizaram-se módulos *Separate* de modo a recolher as estatísticas por peça e não por placa a partir deste ponto da linha, como é retratado na parte 4.

Relativamente à Finalização dos *Inverters*, representado na figura como parte 5, teve-se em conta o número de tabuleiros, em média, transportados pelo operador até à “mini linha” e ainda o número de *Inverters* transportados em cada tabuleiro. Assim, com recurso ao módulo *Hold* juntam-se 32 peças após a Singulação (8 peças por tabuleiro, sendo que o operador em média transporta 4 tabuleiros em cada viagem) e, através do módulo *Batch* juntam-se as 32 peças durante o transporte e voltam a separar-se na estação da cola.

Em Anexos C encontram-se as figuras com os vários pontos do modelo referidos e ainda a visão global do modelo (figuras C.6 a C.11).

• Número de replicações e *Warm-up period* considerados

Tendo em conta que os dados recolhidos foram das ordens recebidas no *Final Assembly* durante 300 dias úteis, com a linha a funcionar a DOIs turnos, definiu-se o *Run Setup* de modo a

ter um *Replication Length* de 300 dias, com 16 horas por dia, por se tratarem de DOIs turnos de 8 horas seguidos em que a condição final do turno anterior é igual à condição inicial do turno seguinte.

Com isto definido foi importante calcular o número de replicações e o *Warm-up period* mais adequados. Para tal, através do *Process Analyzer* definiram-se vários cenários nos quais se fez variar o número de replicações, de 1 a 30 replicações, mantendo-se a *Replication Length* de 300 dias e o *Warm-up period* de zero dias, analisando as respostas para o Number Out de peças D38_1.

O Arena calcula o *Half Width*, o valor máximo e mínimo, para cada cenário, tendo um IC de 95%. Assim, através do *half width* cedido pelo Arena e da resposta média, calculou-se o erro da estimativa pontual. Tendo em conta que, diariamente, se admite uma variação de 4 placas D38, isto é, 16 peças D38, o que representa uma variação de 4 peças de D38_1, admite-se um erro menor que 2,2%. Para tal, é necessário fazer 28 replicações, tal como concluído pela tabela 5.5.

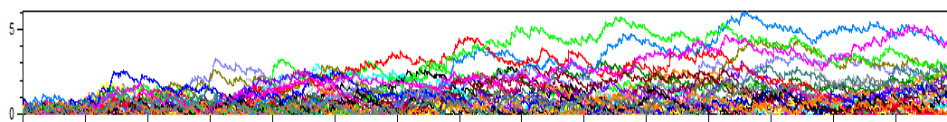
Tabela 5.5 - Cálculo de número de replicações

WARM-UP=0								
Número de replicações	Numberout D38_1	$t_{n-1;1-\frac{\alpha}{2}}$	s	hw	IC1	IC2	IC	Erro
1	48144							
2	52010.5	12.706	5468.051	49127.7	101138.2	2882.8	98255.4	94.5%
3	52244.667	4.303	3887.715	9658.4	61903.07	42586.27	19316.8	18.5%
4	52342.25	3.182	3180.327	5059.9	57402.15	47282.35	10119.8	9.7%
5	52391.2	2.776	2756.421	3422	55813.2	48969.2	6844	6.5%
6	52955	2.571	2825.821	2966	55921	49989	5932	5.6%
7	52609.429	2.447	2736.898	2531.3	55140.73	50078.13	5062.6	4.8%
8	52312.375	2.365	2669.485	2232.1	54544.48	50080.28	4464.2	4.3%
9	52633.778	2.306	2676.843	2057.6	54691.38	50576.18	4115.2	3.9%
10	52676.2	2.262	2527.306	1807.8	54484	50868.4	3615.6	3.4%
11	53190.818	2.228	2942.983	1977	55167.82	51213.82	3954	3.7%
12	53213.75	2.201	2807.166	1783.6	54997.35	51430.15	3567.2	3.4%
13	53471.923	2.179	2844.398	1719	55190.92	51752.92	3438	3.2%
14	53777.071	2.16	2961.626	1709.7	55486.77	52067.37	3419.4	3.2%
15	53288.2	2.145	3424.837	1896.8	55185	51391.4	3793.6	3.6%
16	53228.813	2.131	3317.316	1767.3	54996.11	51461.51	3534.6	3.3%
17	53194.235	2.12	3215.05	1653.1	54847.34	51541.14	3306.2	3.1%
18	53259.111	2.11	3131.31	1557.3	54816.41	51701.81	3114.6	2.9%
19	53276.684	2.101	3043.968	1467.2	54743.88	51809.48	2934.4	2.7%
20	53384.9	2.093	3002.079	1405	54789.9	51979.9	2810	2.6%

Tabela 5.5 - Cálculo de número de replicações (continuação)

WARM-UP=0								
Número de replicações	Numberout D38_1	$t_{n-1;1-\frac{\alpha}{2}}$	s	hw	IC1	IC2	IC	Erro
21	53505.476	2.086	2977.795	1355.5	54860.98	52149.98	2711	2.5%
22	53655.227	2.08	2989.689	1325.8	54981.03	52329.43	2651.6	2.5%
23	53753.13	2.074	2958.431	1279.4	55032.53	52473.73	2558.8	2.4%
24	53617.417	2.069	2968.748	1253.8	54871.22	52363.62	2507.6	2.3%
25	53729.8	2.064	2960.029	1221.9	54951.7	52507.9	2443.8	2.3%
26	53506.731	2.06	3115.352	1258.6	54765.33	52248.13	2517.2	2.4%
27	53516.444	2.056	3055.267	1208.9	54725.34	52307.54	2417.8	2.3%
28	53417.893	2.052	3043.13	1180.1	54597.99	52237.79	2360.2	2.2%
29	53408.414	2.048	2988.924	1136.7	54545.11	52271.71	2273.4	2.1%
30	53531.133	2.045	3012.876	1124.9	54656.03	52406.23	2249.8	2.1%

Com o número de replicações definidas, através do *Output Analyzer* fez-se uma análise para verificar o *Warm-up period* a considerar, através da figura 5.6 é possível verificar o gráfico cedido pelo *Output Analyzer*. Em seguida, gerou-se a tabela do WIP para cada warm-up, ainda no *Output Analyzer* e aproximou-se, com recurso ao excel, a uma única linha representativa da média do WIP com a evolução do *Warm-up period* de onde se concluiu que existia uma estabilização a partir dos primeiros 20 dias, pelo que se considerará um *Warm-up period* de 20 dias.

Figura 5.6 - Gráfico para identificação de *warm-up period*

• Verificação e Validação do Modelo

Com o modelo de Simulação construído e o *Run Setup* totalmente definido é importante verificar e validar o modelo, isto é, comprovar se o modelo é executado como pretendido e sem erros e avaliar se o modelo está à imagem do sistema real. Assim, para a verificação, observou-se a animação do modelo e corrigiram-se eventuais erros que foram surgindo.

No que diz respeito à validação do modelo, fez-se uma análise cuidada ao *output* do sistema, comparando os valores de resposta obtidos na Simulação com os Valores reais recolhidos do sistema. Tendo em conta que o *input* do modelo são os pedidos realizados ao *final assembly* e que, utilizando os dados do estudo realizado entre Março e Abril, relativamente aos erros de qualidade, em cada máquina e em cada modelo, e às paragens não planeadas, calculou-se a disponibilidade e a eficiência de cada máquina bem como a percentagem de produtos não conformes ao longo do processo, espera-se que os dados de saída do modelo vão ao encontro do número de peças singuladas na realidade ao longo do período de 300 dias em estudo, menos o

número de peças em *Market Place*, isto é, que o *Board Prep* produz a mais de modo a possuir *stock* entre a sua área e o *Final Assembly* e o número de produtos em *Scrap* no *Final Assembly* que obriga ao *Board Prep* a produzir mais essas peças para além do pedido na *Schedule* do *Final Assembly*.

No entanto, de notar que nas linhas de *Final Assembly*, não existem *Market Places* como no *Board Prep*, existe sim um *stock* que é mantido em *Shipping* antes de seguir para o Cliente. Esta quantidade de *stock* é o menor possível mas está dependente do produto, do Cliente e da Procura média que o caracteriza.

DOIs pontos são importantes para validar o modelo em causa. O primeiro diz respeito ao mix de produto, isto é, se a percentagem de cada modelo corresponde aos valores produzidos na realidade. O segundo diz respeito ao número de peças e placas fabricadas segundo o Arena e a realidade.

Assim, na tabela 5.6 comparam-se as percentagens obtidas de cada modelo produzido, segundo o simulador, com as percentagens de cada modelo realmente produzido. Como é possível observar, as percentagens de produzidos de cada modelo relativamente ao total produzido, segundo o Arena e na realidade, estão de acordo. Existem alguns casos com diferenças de apenas 1% ou 2%.

Tabela 5.6 - Validação do *Mix* de Produto

Modelos	%Modelo/Total (Arena)	%Modelo/Total (real)
77c	11%	10%
2a	9%	8%
3a	19%	18%
4a	2%	2%
56a	4%	5%
ajr	6%	7%
ajs	1%	1%
d38	29%	30%
d37	15%	17%
qtg	3%	3%

Relativamente ao número de peças e placas produzidas na realidade versus o número de peças e placas segundo o Arena, apresenta-se a tabela 5.7. Tal como é possível observar, traduzindo a discrepância obtida para número de placas diárias conclui-se que no máximo existe uma diferença de 26 placas que, tendo em conta a produção média diária 900 placas não será considerado significativo, considerando-se o modelo válido.

Tabela 5.7 - Validação da quantidade produzida

Modelos	<i>Number Out Arena</i>	Número produzidas	Diferença diária de Peças Real versus Arena	Diferença Real versus Arena (placas)
77c	67190	69359	7	4
2a	56754	56516	-1	0
3a	121297	131603	34	17
4a	15335	17275	6	3
56a	28244	36252	27	7
ajr	40440	51515	37	9
ajs	3408	4639	4	1
d38	185344	216028	102	26
d37	96048	122313	88	22
qtg	17583	22731	17	6

- **Identificação da Restrição**

Para a identificação da Restrição, para além da observação da animação, onde é possível observar as estações em que existe mais acumulação de peças em espera, recorreu-se aos relatórios cedidos pelo Arena e no *Queue Reporter* verificou-se que a Estação “Coloca compl top” possuía mais entidades em fila de espera, quando comparada com as restantes estações do modelo.

No subcapítulo seguinte esta estação será caracterizada de forma aprofundada e todo o estudo futuro será baseado nesta estação.

5.3. Exploração da Restrição (3ª Fase)

Como verificado no capítulo anterior, as três ferramentas permitem concluir que a Restrição não *bottleneck* em que o futuro estudo deve ser centrado é a colocação de componentes à superfície na máquina 1. Tal como foi possível concluir pela análise do *Current State* do VSM e pelo estudo de capacidade, esta é uma estação que se caracteriza pelo seu OEE reduzido de 76%, por um tempo de ciclo muito variável e com inúmeras falhas diárias do equipamento. Para além disso, possui um tempo de *Changeover* muito elevado, merecedor de um estudo mais aprofundado e ainda se verifica que, muitas vezes são produzidos lotes maiores do que o requerido pela Procura com o objetivo de diminuir o número de *Changeovers* diários a realizar.

Com a Restrição identificada e brevemente caracterizada, e tal como no Modelo híbrido proposto, em seguida procede-se à identificação de fontes de Desperdício e de Variabilidade, sobre as quais serão aplicadas algumas ferramentas *Lean*, *Six Sigma* e *Lean Six Sigma*. Por fim, todas as propostas devem ser apresentadas e analisadas num A3.

5.3.1. Fontes de Desperdício: Identificação e Caracterização

Depois de ter um conhecimento aprofundado sobre todo o sistema e, em particular sobre a Restrição, e através do desenvolvimento do VSM e do modelo de Simulação, foi possível identificar os desperdícios na tabela 5.8 seguindo a lógica apresentada no capítulo 3 de apresentação do Modelo Híbrido.

Tabela 5.8 - Ferramentas para cada tipo de desperdício identificado

Tipo de desperdício	Razão aparente	Ferramentas de identificação	Ferramentas de melhoria
Produção em excesso (produz-se em excesso ou antes do necessário)	Para evitar longos tempos de mudança de <i>setup</i>	<ul style="list-style-type: none"> VSM Simulação SMED 	<ul style="list-style-type: none"> SMED
Tempo de espera (Tempo ocioso para operador, material ou informação)	Por ocorrer com frequência avarias nos equipamentos	<ul style="list-style-type: none"> VSM Simulação Estudo do tempo e razão de paragens não planeadas 	<ul style="list-style-type: none"> TPM <i>Kaizen</i>
	Por existirem longos tempos de mudança de <i>setup</i>	<ul style="list-style-type: none"> VSM Simulação SMED 	<ul style="list-style-type: none"> SMED
	Por ser necessário percorrer longas distâncias para a realização de tarefas	<ul style="list-style-type: none"> Diagrama Esparguete 	<ul style="list-style-type: none"> Re-desenho do <i>layout</i> Possibilidade de <i>Layout</i> celular
Movimentações desnecessárias dentro de um posto de trabalho	<i>Layout</i> inapropriado	<ul style="list-style-type: none"> Diagrama Esparguete 	<ul style="list-style-type: none"> Re-desenho do <i>layout</i> Possibilidade de <i>Layout</i> celular

Com as fontes de desperdício pré-identificadas, este é o momento de as verificar pela utilização das “Ferramentas de identificação” propostas.

• Análise do *Current State Vs Future State* do VSM

Pela análise do *Current State* do VSM, representado em Anexos C, foram identificadas várias oportunidades de melhoria e definidos três eventos *Kaizen*. Na figura 5.7. encontra-se a parte do *Future State* do VSM correspondente à restrição.

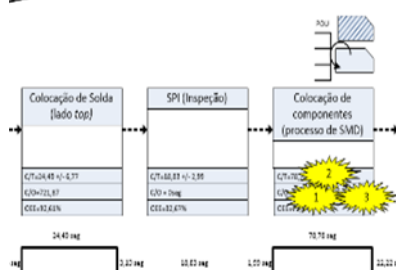


Figura 5.7 - *Future State* do VSM correspondente à restrição

O primeiro evento Kaizen diz respeito à Diminuição do tempo de *Changeover*. Para isto será aplicada a metodologia SMED, iniciando ainda neste capítulo o seu desenvolvimento.

O segundo evento *Kaizen* tem como objetivo aumentar o OEE deste equipamento pelo aumento do Desempenho e Disponibilidade da máquina através da redução de falhas de *pick e align* da máquina que não só irá permitir a redução de Manutenções Corretivas (aumentando a Disponibilidade da máquina), como também irá permitir a redução dos *minor stoppers* da máquina que provocam o baixo desempenho e elevada variabilidade da mesma.

Relativamente ao terceiro evento *Kaizen*, destina-se à redução do tempo de ciclo da estação através da redução do tempo de ciclo do Operador, através da redução do tempo de troca de *reels*, tanto ao nível do percurso que é necessário o operador percorrer para identificar e recolher a *reel* a utilizar, como também o próprio processo de troca de *reels*.

Assim, com a Redução do Tempo de Ciclo do Operador, com o aumento do OEE e com a redução do tempo de *Changeover* espera-se um aumento considerável de capacidade da estação e uma redução da Variabilidade.

- **Análise do tempo de *Changeover* e possibilidade de aplicação da metodologia SMED**

Durante as inúmeras observações da atividade de troca de *setup* foi possível identificar várias perdas de tempo desnecessárias em todo o sistema e oportunidades de melhoria. Adicionalmente, verificou-se que não existia nenhum estudo SMED atualizado para aquela linha.

Assim, será aplicada a metodologia SMED futuramente. Primeiro na Restrição e depois por todo o sistema, uma vez que se verificou que iria provocar um grande aumento de capacidade de toda a linha.

- **Análise do *Layout* da estação e desenvolvimento do diagrama esparguete**

Tal como já apresentado no capítulo 4.3. Caracterização do Processo em Estudo, o equipamento responsável pela colocação de componentes à superfície (SMD) é alimentado por *reels*. A própria insersora dá um aviso quando alguma *reel* está a acabar, neste momento o operador deve verificar qual é o componente que está a acabar e dirigir-se ao ponto de identificação e recolha de *reels* que se encontra antes do forno, tendo que fazer o percurso marcado a vermelho na figura 5.8. Concluiu-se que este percurso pode ser alterado alterando o ponto de recolha de *reels*, como será apresentado no subcapítulo 5.3.3.

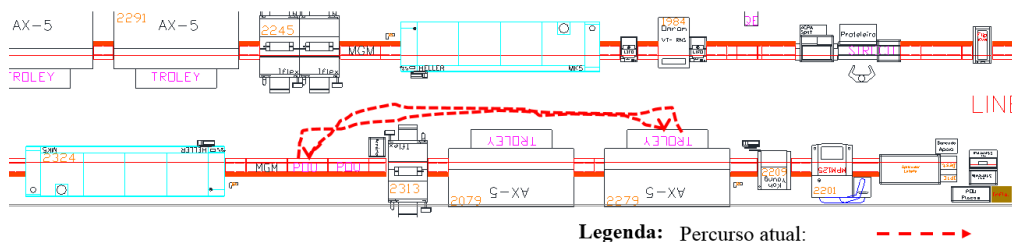


Figura 5.8 - Diagrama esparquete do percurso inicial para alimentação de SMD 1

- **Análise dos Tempos de paragens não planeadas**

Para o cálculo dos OEE presentes no VSM foi realizado um estudo, entre os dias 1 de Março e 2 de Abril, inclusive, relativamente à razão para as paragens da linha. Neste estudo, foi feito um levantamento relativamente às perdas por não qualidade, por degradação do tempo de ciclo, por paragens próprias (período de paragem cuja causa pertence ao meio de fabricação) e por paragens induzidas (tempo de paragens não programadas originadas por causas ligadas a fatores externos), de onde se obtém o gráfico da figura 5.9. Como é possível verificar pelo gráfico, as perdas por paragens próprias representam 6.30% do total de perdas. Assim, depois de um estudo aprofundado, constatou-se que o total de tempos de paragem por avaria, com assistência de um técnico, representou 1345 minutos durante os 22 dias de estudo. De onde se pode concluir que, em média, a linha está parada 1 hora por dia.

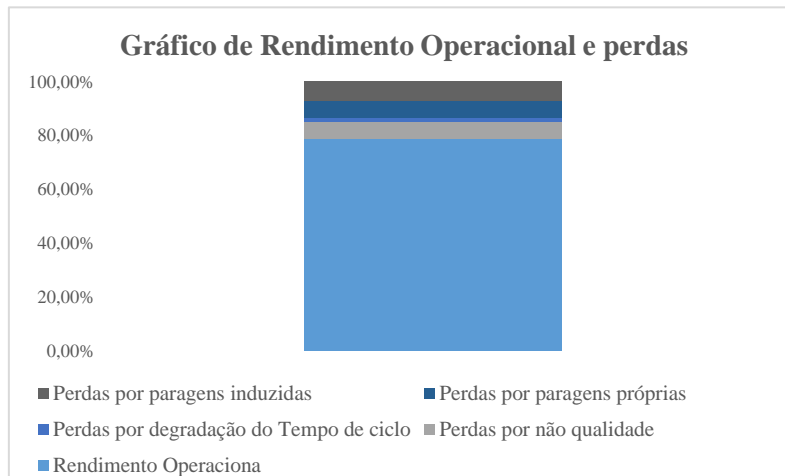


Figura 5.9 - Estudo de Rendimento Operacional e Perdas da linha de montagem

No entanto, no que diz respeito às paragens próprias na Restrição apenas existiu uma paragem de 100 minutos o que representa 7,4% do tempo total de paragens próprias. Isto aliado ao facto da máquina ter tido uma disponibilidade de 87% durante os 22 dias do estudo, conclui-se que não será necessário aplicar um TPM ao processo no entanto será realizado um estudo às falhas de *pick e align* que fazem com que a Disponibilidade deste equipamento seja mais baixa

quando comparada a outras insersoras similares que apresentam em média uma disponibilidade de 93%.

5.3.2. Fontes de Variabilidade: Identificação e Caracterização

Identificados os desperdícios do sistema, este é o momento de proceder à identificação e caracterização das fontes de Variabilidade.

Tal como anteriormente referido, as estações de Colocação de componentes à superfície são estações que apresentam tempos de ciclo muito variáveis. Por outro lado, será também importante verificar se os DPMOs se encontram dentro do esperado (até 3,4 DPMOs). Assim este capítulo irá subdividir-se em duas partes. A primeira parte diz respeito ao cálculo e análise do DPMO da estação em causa. A segunda parte tem como objetivo identificar as fontes de variabilidade relativas ao tempo de ciclo desta estação.

- **Análise do DPMO da estação**

Para o cálculo do DPMO verificaram-se algumas dificuldades. Em primeiro lugar, após a inserção à superfície (do lado *top*), as placas são inspecionadas apenas na estação AOI. Os defeitos identificados nesta estação, para além de poderem ser falsos rejeitos podem ainda ser provocados por qualquer uma das estações anteriores ao AOI.

Assim, para o cálculo do DPMO, recolheram-se as reparações realizadas às placas provenientes do AOI *top*. Para cada reparação verificou-se o componente que causou o defeito e, por fim, compararam-se os *part-numbers* dos componentes com os *part-numbers* dos componentes colocados pela primeira insersora, isto é, pela restrição. Assim, obteve-se o número de defeitos ocorridos na restrição.

Para o mesmo período de tempo de onde se recolheram os dados das reparações, verificou-se o número de unidades produzidas. Por fim, para a identificação do número de oportunidades utilizou-se a classificação dos defeitos já utilizados pela Reparação: componente deslocado, danificado, sujo, levantado, partido, virado, invertido e ainda falta de componente ou existência de um componente extra. Tendo em conta que cada um destes defeitos pode ser identificado num dos 884 componentes colocados na restrição por placas, identificaram-se 8840 oportunidades.

Verificou-se que, para a restrição em estudo, o DPMO era de 0,18441, quer isto dizer que num Milhão de oportunidades existem apenas 0,18441 defeitos ocorridos na restrição. De onde se conclui que a variabilidade existente não é provocada pela falta de qualidade na restrição.

- **Análise à variabilidade do Tempo de Ciclo da Restrição**

Durante a recolha e tratamento de dados identificou-se que as estações responsáveis pela inserção de componentes apresentavam elevada variabilidade no tempo de ciclo. Realizou-se um Diagrama de *Ishikawa* onde se levantaram as principais razões para esta variabilidade destes processos. Assim identificam-se as seguintes causas raiz: Manutenção, Componente, Medição e

Máquina. Relativamente à manutenção, verificou-se que as Manutenções Preventivas foram realizadas nas datas pré-estabelecidas e que esta máquina possui um MTBF elevado, quando comparada com as restantes a ela similares.

Assim, e tal como referido no subcapítulo anterior, neste capítulo proceder-se-á a um estudo onde serão identificados os componentes e os *feeders* que possuem maior falhas na máquina, que causam a elevada variabilidade.

Para tal, primeiramente, recolheu-se durante uma semana os componentes com mais falhas, a partir dos dados cedidos pela própria máquina. Com estes dados foi possível construir o gráfico de Pareto, presente na figura 5.10 de onde se conclui que 87% das falhas de *pick* e *align* dão-se em condensadores do tipo C0603F84 e em resistências do tipo R0402F82.

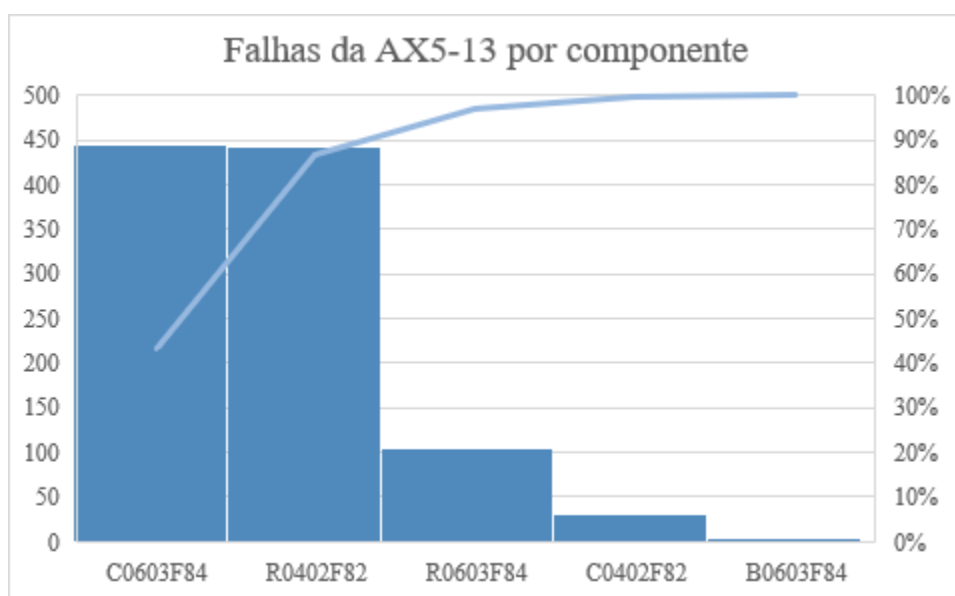


Figura 5.10 - Falhas ocorridas na máquina AX5-13 por componente

Em seguida, para os DOIs componentes que apresentam mais problemas na máquina, analisaram-se as posições dos *feeders* de cada um destes componentes onde existiram mais problemas. Assim, relativamente ao condensador, verificou-se que 90,6% dos rejeitos foram causados pelos componentes que ocupam o *feeder* da posição 13-2-1. Note-se ainda que todos os erros dados pela máquina para esta posição foram erros de *pick* e que o *part-number* do componente colocado por este *feeder* é o mesmo que o colocado pelo *feeders* 7-15-1, 1-3-1 e 13-2-1. De onde se conclui que para este caso, o problema deverá ser o *feeder* e não o próprio componente, já que para as restantes posições não existiram tantas falhas.

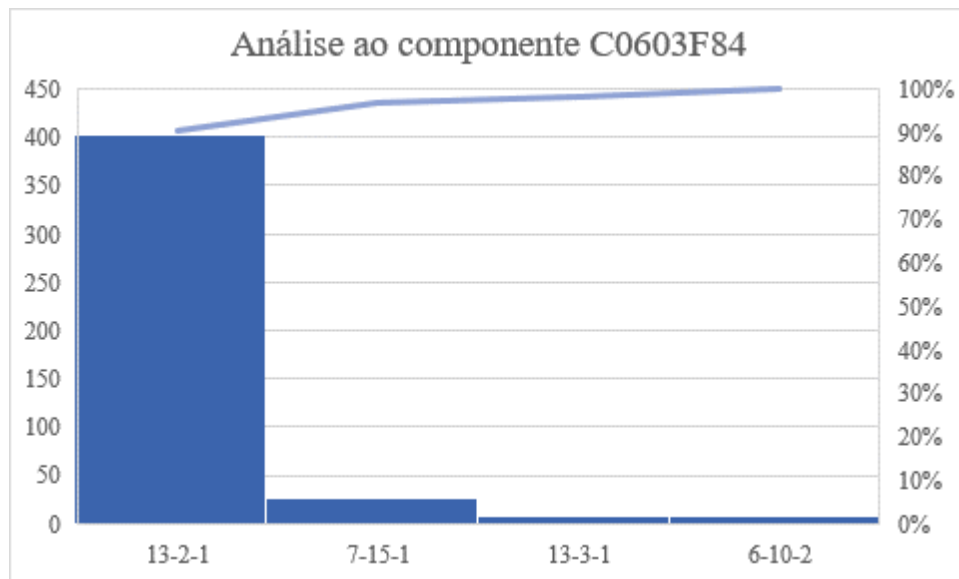


Figura 5.11 - Falhas ocorridas na AX5-13 no componente C0603F84

No que diz respeito à resistência R0402F82, procedeu-se ao mesmo estudo de onde se conclui que as posições 14-9-2, 15-15-2, 19-22-1 e 10-10-2 representam, aproximadamente 80% das falhas. Note-se que, nestes casos, existe apenas um *part-number* para cada uma das posições, à excepção do 10-10-2 que existem duas posições para o mesmo *part-number* (para além do 10-10-2, também o 17-12-1 coloca este *part-number*), no entanto este não aparece entre as 10 posições com mais falhas pelo que o problema deverá ser do *feeder*.

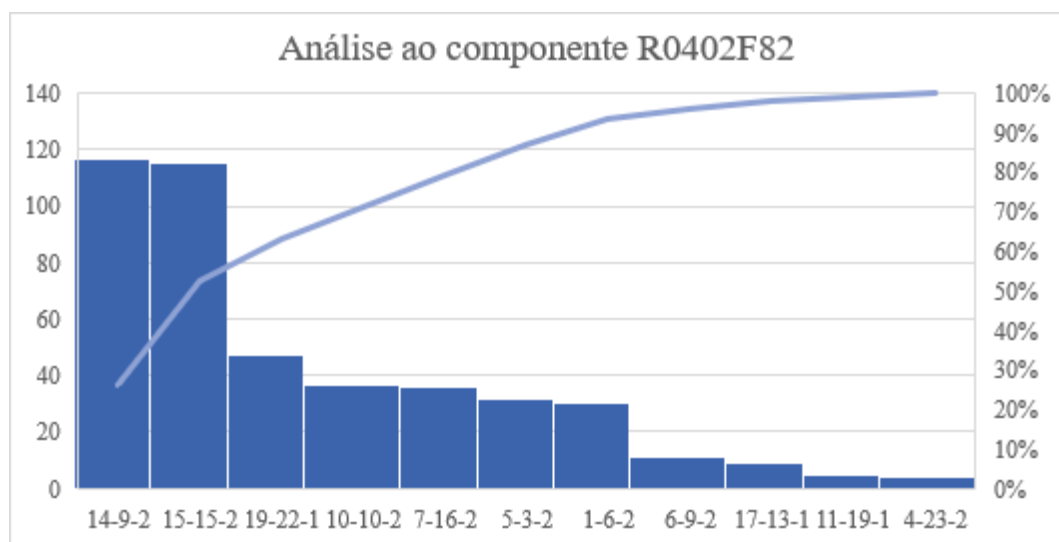


Figura 5.12 - Falhas ocorridas na AX5-13 no componente R0402F82

Assim, restringe-se o estudo às posições 13-2-1, 14-9-2, 15-15-2, 19-22-1 e 10-10-2, que será realizado no subcapítulo 5.3.3.

5.3.3. Aplicação das Ferramentas *Lean*, *Six Sigma* e *Lean Six Sigma*

Nos DOIs subcapítulos anteriores foram identificadas algumas oportunidades de melhoria suscetíveis de aplicação de algumas ferramentas *Lean* e *Six Sigma*. Estas oportunidades de melhoria podem ser resumidas em três projetos *Kaizen*:

- Diminuição do tempo de *changeover* (através da aplicação da ferramenta SMED);
- Redução do tempo de ciclo das operações manuais (pela redução do tempo de percurso e pela alteração do processo de remendo de *reels*);
- Redução de falhas da máquina para a redução de variabilidade do processo e para o aumento de disponibilidade e desempenho.

Assim, o presente capítulo passa pelo tratamento de cada um dos eventos e pelo desenvolvimento de A3 que suportem estes eventos.

- **Diminuição do tempo de *changeover* através da aplicação da ferramenta SMED**
 - Estágio 0

Inicia-se a aplicação SMED no estágio 0 uma vez que, para esta linha de montagem nunca antes tinha sido feito uma análise do processo de *Changeover*. Nesta fase, são analisadas todas as atividades inerentes ao processo de *changeover*, clarificando os operadores que por elas estão responsáveis, o tempo médio inicial de cada atividade e os materiais necessários.

Neste capítulo a ferramenta SMED terá como foco a restrição. Assim, relativamente a esta estação, e especificamente nos carrinhos com conjuntos de *feeders* deverão ser trocados apenas quando uma das seguintes situações ocorre:

- Está a ser produzido NGIs ou *Upper Displays* e pretende-se produzir *inverter*;
- Está a ser produzido *inverter* e pretende-se produzir NGIs ou *Upper Displays*.

Isto acontece porque, para se produzir o *Inverter*, é necessário dispor do conjunto de *reels* indicado para o *inverter*, em cada uma das máquinas SMD do lado *top*. Caso se pretenda produzir um dos modelos de NGI ou de *Upper Display*, nas primeiras duas máquinas do lado *top*, são necessários cinco carrinhos para cada máquina de SMD, e um carrinho para a terceira máquina de SMD do lado *top*. Em conclusão, os *changeovers* relativos aos carrinhos com conjuntos de *reels* passam por alterar um carrinho em cada uma das três máquinas de SMD do lado *top*.

Ainda relativamente às máquinas SMD, sempre que existe um *changeover* tem que ser selecionado o programa correto na máquina (quer haja ou não troca de carrinhos). Este pode ser feito de forma automática para alguns casos sem que se tenha que esperar que a máquina esteja vazia para entrarem as novas placas. Tal só é possível caso o operador realize o “*Changeover* automático” na máquina, ou seja: para placas do mesmo tamanho, isto é, para placas do mesmo

modelo, o operador seleciona o programa enquanto o produto anterior ainda está a ser produzido. É importante referir que esta forma de *Changeover* permite uma enorme poupança de tempo para os *Changeovers* entre modelos e não entre produtos, no entanto, só alguns dos operadores da linha o realizam e os que não realizam referem que esta forma é mais complicada e não acrescenta valor. Assim, é essencial alinhar todos os operadores no sentido de explicar os benefícios deste *Changeover* e os momentos em que deve ser adotado, em detrimento do *Changeover* tido como normal.

Assim, na tabela 5.9 especifica-se, para cada tipo de *changeover* as atividades a realizar e o operador por elas responsáveis.

Tabela 5.9 - Caracterização das atividades de *Changeover* da restrição

Atividade	Modelo Inverter para Modelo NGI	Modelo Inverter para Modelo Upper Display	Modelo Inverter para Modelo Inverter	Modelo NGI para Modelo Inverter	Modelo NGI para Modelo Upper Display	Modelo NGI para Modelo NGI	Modelo Upper Display para Modelo Inverter	Modelo Upper Display para Modelo NGI	Trabalhador responsável
Empurrar carrinhos até meio da linha	X	X		X			X		Operador 2
Troca do carrinho da SMD 1	X	X		X			X		Operador 1
Troca do programa da SMD 1	X	X	X	X	X	X	X	X	Operador 1
Colocar carrinhos que deixam de ser utilizados novamente fora da linha	X	X		X			X		Operador 2

○ Estágio 1

O Estágio 1 é uma evolução do Estágio 0, à qual se retiram todas as operações externas que são realizadas na mudança de referência em produção, considerando operações externas todas aquelas em que não seja imperativo realizá-las com o equipamento parado. Inicialmente, todas as atividades de *changeover* da restrição são atividades internas. No entanto, as atividades de colocação dos carrinhos no meio da linha e devolução dos antigos ao local próprio, fora da linha, interrompem frequentemente a produção uma vez que, para colocar ou retirar os carrinhos da linha, é necessário levantar o *conveyor* antes do forno, interrompendo a passagem de peças da máquina SMD 3 do lado *top* para o forno. A atividade de colocação dos carrinhos no meio da linha não pode ser feita noutra altura (pelo que será considerada Atividade Interna). Por outro lado, a atividade de devolução dos carrinhos que deixam de ser utilizados pode ser considerada atividade externa caso seja realizada apenas no momento em que o forno, já vazio, está a arrefecer, garantindo que não existe interrupção de produção para esta atividade.

- Estágio 2

Nesta fase, o objetivo é reduzir o tempo das atividades internas. Assim, analisou-se cada uma das atividades internas da restrição e verificou-se que as atividades Empurrar carrinhos até meio da linha e Troca do carrinho SMD 1 podiam ser otimizadas.

A primeira é reduzida pelo rebalanceamento da atividade, passando a estar responsável por esta atividade também as operadoras 3 e 4, permitindo uma redução de 112,60 segundos iniciais para 38 segundos. Esta medida pode também ser aplicada à atividade externa Colocar carrinhos que deixam de ser utilizados fora da linha.

Quanto à outra atividade interna a ser otimizada, através da diminuição do tempo de “*retries*” necessários uma vez que a maior parte das vezes, o Operador tem que andar para a frente e para trás com o carrinho até que este esteja com as rodas perfeitamente alinhadas, uma vez que só assim se dá o encaixe do *trolley* nestas máquinas SMD.

Tendo isto em conta propõe-se a aplicação de uns carris no chão, de tal forma que as rodas entrem de início a direito e que haja o encaixe perfeito. Esta medida permitirá reduzir 9,8 segundos (tempo médio total despendido em “*retries*” pelo operador a tentar que haja encaixe do carrinho na máquina).

Para o desenho dos carris, teve-se em atenção a espessura das rodas dos carros, o peso médio dos carros (para a escolha da espessura e material a utilizar no carril), e o afastamento das rodas no carro (para saber a que distância estes devem ser posicionados um do outro). Assim, apresenta-se na Figura 5.13, o desenho em AutoCad dos DOIs carris.



Figura 5.13 - Carris para carrinhos de máquinas SMD

- **Redução do tempo de ciclo das operações manuais**

Na restrição em estudo as operações manuais dizem respeito à alimentação das máquinas. Como referido anteriormente, quando uma *reel* está a chegar ao fim a máquina dá um aviso para que as operadoras façam um remendo (ou *splice*) na *reel* em utilização de modo a colar o resto da *reel* ao início da *reel* inicial. Assim, quando o operador recebe o aviso tem que percorrer um caminho até ao armário das *reels*. Aqui, este tem que identificar a *reel* e inserir no sistema a sua

saída, percorrer novamente o percurso até à máquina e realizar o remendo que será futuramente explicitado.

Assim, e tal como anteriormente referido, o primeiro passo será a otimização do percurso percorrido pelo operador, que inicialmente ocupava 18,82 segundos do tempo de ciclo. Para tal, recorre-se a um diagrama esparguete (presente figura 5.14) onde é possível verificar o percurso inicialmente percorrido pelo operador *versus* o percurso a percorrer com a colocação de um POU móvel de *reels* em frente ao forno. O que se propõe é que as *reels* utilizadas pelas máquinas SMD 1 e 2, do lado *top*, utilizem este armário e que a iFlex utilize o armário inicial. Isto permitirá que o tempo em percurso passe a ser apenas 6,12 segundos.

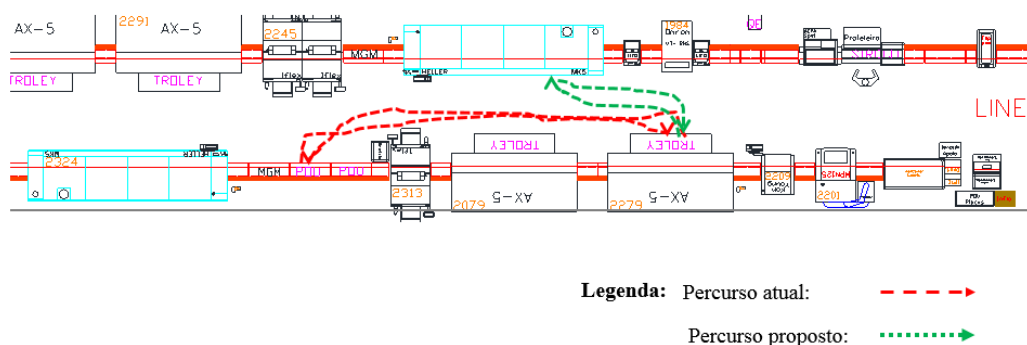


Figura 5.14 - Percursos para recolha de *reels*

O *splice*, para além de necessitar de muito tempo (em média 2 minutos e 6 segundos), provoca muitas vezes encravamentos nas máquinas e falhas de *pick*. Os encravamentos são causados pelo tipo de fita utilizado que, por ter uma cola pouco resistente, à medida que a máquina puxa a *reel*, a fita vai-se deslocando do início da reel seguinte, ficando assim um espaçamento entre a junção, como se observa pela figura 5.15. As falhas de *pick* devem-se ao facto de nem sempre o *splice* ficar completamente alinhado, tal como é possível verificar pela figura 5.16, obtida por observação ao microscópio.



Figura 5.15: Espaçamento na junção entre as duas *reels*



Figura 5.16 - Desalinhamento entre DOIs *reels*

Para contornar estas situações recomenda-se a utilização de uma fita de *splice* com cola mais resistente e de plástico com maior elasticidade do que o atualmente utilizado. Isto permitirá que a fita das *reels* não avance sem a fita autocolante. Para além disso, de forma a tornar a tarefa mais simples e rápida, com menos erros, e com um desalinhamento muito menor, propõe-se a utilização de uma “*splice tool*”, como a da figura 5.17. Note-se ainda que nas tabelas 5.10 e 5.11 está presente o fluxograma dos processos atual e proposto para esta atividade. Esta ferramenta facilitará a implementação do *Standardized Work*.



Figura 5.17 - *Splice Tool* a utilizar

Tabela 5.10 - Gráfico de fluxo de processos atual

Ordem	Atividades	Tipo de operação	Duração esperada	Distância percorrida
1	Verificação da <i>reel</i> em causa	● ▼ ➡ □ D	2,4	
2	Percurso até ao armário	○ ▼ ➡ □ D	9,41	10
3	Identificação do local da <i>reel</i> (no POU)	● ▼ ➡ □ D	21	
4	Percurso até à máquina	○ ▼ ➡ □ D	9,41	10
5	Corte da ponta da fita da nova <i>reel</i>	● ▼ ➡ □ D	6,94	
6	Corte da ponta da fita da <i>reel</i> na máquina	● ▼ ➡ □ D	7,84	
7	Levantamento da película autocolante da <i>reel</i> nova	● ▼ ➡ □ D	24	
8	Levantamento da película autocolante da <i>reel</i> na máquina	● ▼ ➡ □ D	25	
9	Colocação da fita autocolante no lado 1	● ▼ ➡ □ D	5	
10	Colocação da fita autocolante no lado 2	● ▼ ➡ □ D	7	
11	Colocação alinhada da fita da <i>reel</i> nova entre as duas fitas autocolantes	● ▼ ➡ □ D	8,4	
12	Colar bem os dois lados	● ▼ ➡ □ D	7,41	
13	Retirar restos da fita autocolante	● ▼ ➡ □ D	8	
14	Depositar restos na caixa	○ ▼ ➡ □ D	3	
Total			144,81	20
			segundos	metros

Tabela 5.11 - Gráfico de fluxo de processos proposto

Ordem	Atividades	Tipo de operação	Duração esperada	Distância percorrida
1	Verificação da <i>reel</i> em causa		2,4	
2	Percorso até ao armário		3,06	1,25
3	Identificação do local da reel (no POU)		21	
4	Percorso até à máquina		3,06	1,25
5	Corte da ponta da fita da nova reel		6,94	
6	Corte da ponta da fita da reel na máquina		7,84	
7	Colocação da ponta da fita da reel da máquina no <i>splice tool</i>		5	
8	Colocação da ponta da fita da reel nova no <i>splice tool</i>		7	
9	Pressionar <i>splice tool</i>		3	
10	Colocação da fita autocolante lado 1		10	
11	Retirar fitas do <i>splice tool</i>		1	
12	Colar fita autocolante no verso		2	
13	Retirar restos		2	
Total			74,3	2,5
			segundos	metros

- **Redução de falhas da máquina (*pick* e *align*)**

No capítulo anterior após a análise *Six Sigma* realizada foi possível verificar que será necessário um estudo aprofundado às falhas de *pick* e *align* nas posições 13-2-1, 14-9-2, 15-15-2, 19-22-1, 10-10-2. Assim, cada uma destas posições serão abordadas individualmente, identificando as razões da falha e as melhorias propostas, testadas e aplicadas.

Várias são as razões que podem causar as falhas de *pick* e *align*, tal como identificado no diagrama *ishikawa*. O problema pode ser na máquina, nomeadamente no *feeder* que necessita de manutenção, no *nozzle* ou no laser sujo, *nozzle* em utilização errado ou na posição errada ou ainda a descalibragem da máquina para aquele determinado *feeder*. A outra possibilidade é o problema ser no próprio componente, devido às suas próprias especificações ou característica do fornecedor, nomeadamente tamanho do *pocket* demasiado grande para o componente em causa.

Desta forma, para uma análise completa aos componentes, posições e razões da falha propõe-se a utilização da metodologia, apresentada na figura 5.18, em que, após identificados os componentes com mais falhas e, consequentemente, as posições mais problemáticas, bem como o *part-number* dos componentes nas localizações em falha, é importante verificar se esse mesmo *part-number* é colocado em mais do que uma posição.

O passo seguinte é a análise ao *Nozzle* utilizado para os diferentes componentes. Esta análise deve seguir também uma metodologia, apresentada na figura 5.19, que começa pela identificação do *nozzle* em utilização e a verificação das dimensões do componente em causa, nomeadamente o tamanho mínimo da parte cerâmica do componente, cedida pelos fornecedores. Tendo isto em conta, é necessário conhecer ainda a tolerância do *feeder*, a fim de proceder a um *Tolerance Stack-up*, que permitirá concluir se o *nozzle* em utilização é ou não o correto. Para conhecer os Nozzles permissíveis de utilizar, segundo o fornecedor, foram realizadas algumas reuniões com o

departamento “SMD Cluster” que permitiu concluir que, segundo o tamanho dos componentes, o fornecedor aconselha determinados *nozzles*, de acordo com a tabela 5.12.

Tabela 5.12 - *Nozzles* recomendados por dimensão do componente

Dimensão do componente	<i>Nozzles</i> recomendados
01005	CPL1
0201	CPL1
0402	CPL2
	CPL3
0603	CPL3
	CPL4
0804	CPL4

Se o *nozzle* não for o correto é necessário substituí-lo e iniciar de novo o ciclo de melhoria contínua, caso contrário, nesta fase verifica-se a condição do *nozzle*.

Continuando a metodologia da figura 5.18, verifica-se se as outras posições têm comportamento semelhante. Se nas outras posições não são verificados problemas de *pick* e *align* pode-se concluir que o problema não será no componente mas sim na máquina (no *feeder*, no laser ou no alinhamento da máquina). Antes de trocar o *feeder* todas as outras variáveis devem ser testadas de modo a não sobrecarregar a equipa de manutenção.

Caso contrário, analisa-se o componente pelas imagens fornecidas pela máquina e ao microscópio de modo a verificar se o tamanho do *pocket* está de acordo com o tamanho do componente, testando se, para os *pockets* dos outros componentes de dimensões iguais ou semelhantes existe também uma folga quando colocado o componente em falha. Caso isto não se verifique conclui-se que o *pocket* utilizado não é o adequado para esse componente e que deveria ser um *pocket* de dimensões mais reduzidas.

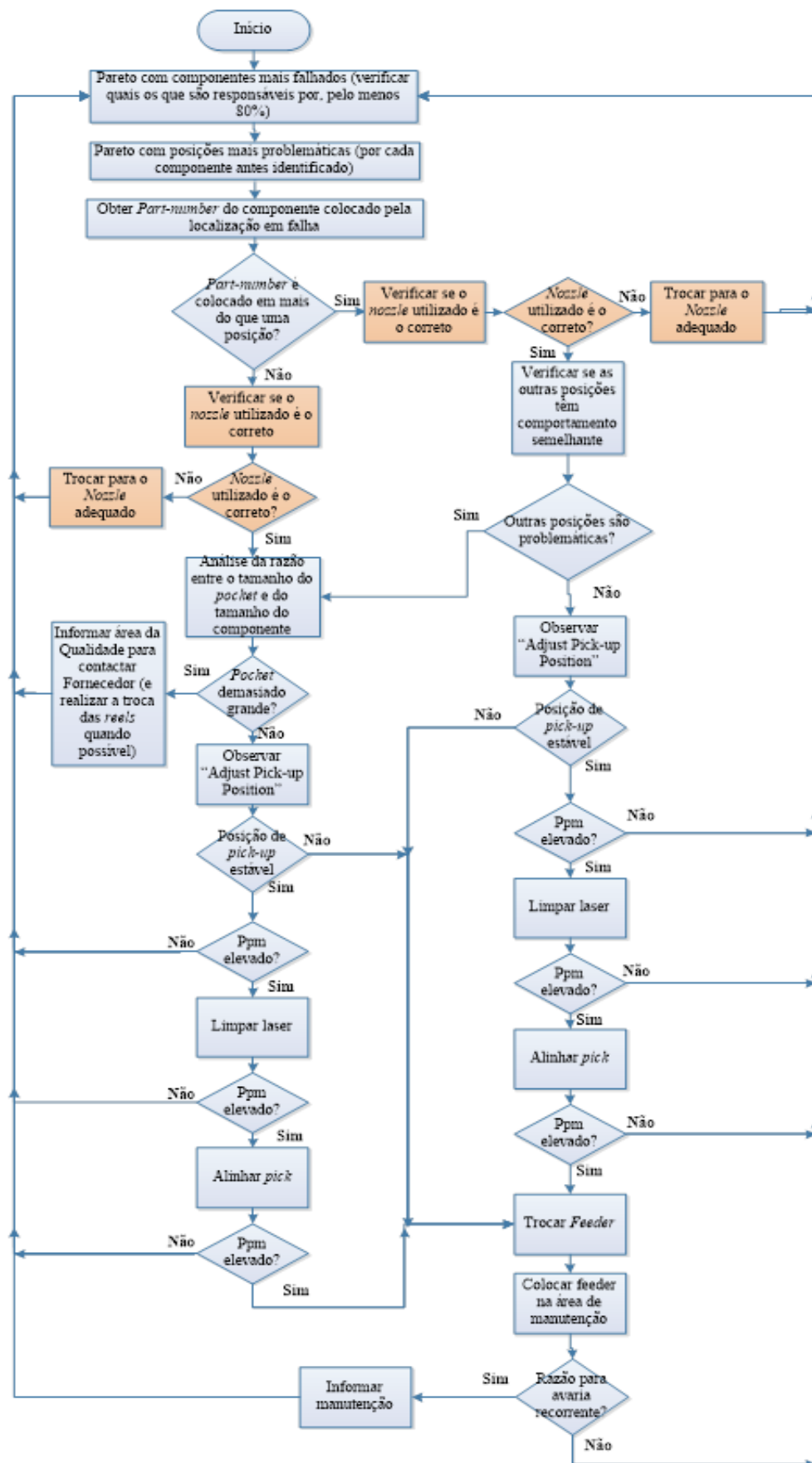


Figura 5.18 - Metodologia de análise às falhas de *Pick* e *Align*

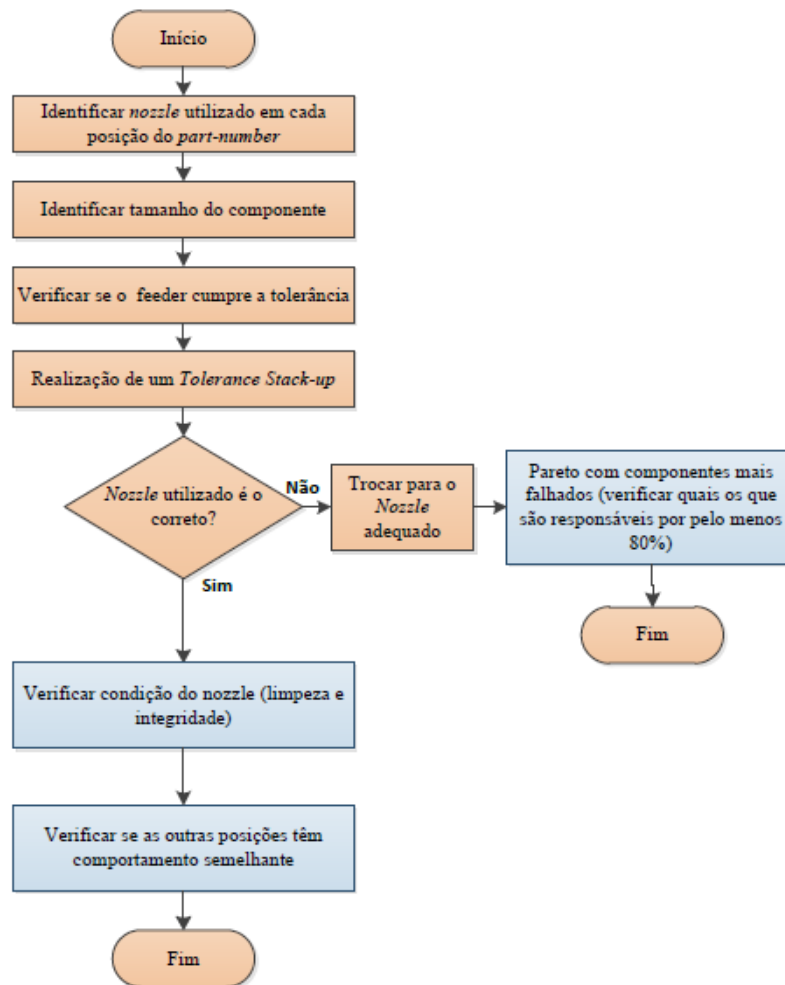


Figura 5.19 - Análise ao *Nozzle* em utilização

Com a metodologia de análise explicitada, em seguida serão apresentadas as medidas (implementadas e em implementação), para cada uma das posições em estudo.

- Posição 13-2-1

Como explicitado, o primeiro passo foi a verificação do *part-number* colocado nesta posição. Nesta posição, para o programa em estudo, é colocado um condensador 0603 com *part-number* coincidente com outras duas posições: 1-3-1 e 7-15. Foram em seguida verificadas as dimensões dos componentes (para diferentes fornecedores), de onde se concluiu que não existe diferença de dimensões, para este *part-number* consoante o fornecedor.

Para o estudo do *Nozzle* utilizado, em primeiro lugar verificou-se que todas as cabeças da máquina estavam a utilizar o CPL3. Assim, realizou-se um estudo para verificar se esta seria a melhor opção. Tendo em conta que para um componente 0603 só é permissível a utilização de CPL3 ou CPL4 e que se verificou que o CPL4 era demasiado grande para o componente em estudo, realizou-se a análise apenas para o CPL3.

Em *Autocad* estudaram-se as duas posições possíveis do CPL3, tal como é possível verificar na figura 5.20. À esquerda, com o *nozzle* a 0 graus está a atual posição.

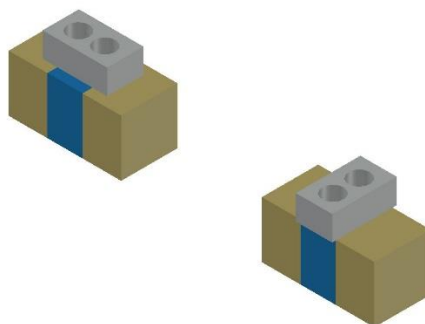


Figura 5.20 – *Nozzle* CPL3: Componentes 0603 (imagem em 3D)

Pela figura 5.20 verifica-se que, na posição a 0 graus os furos do *nozzle*, responsáveis pela passagem do vácuo que agarram o componente, fazem o *pick* nas duas zonas do componente (parte cerâmica, a azul, e *weatable surfasse*, a bege). No entanto, sabe-se que normalmente existe um desnível entre estas duas zonas o que pode provocar falhas de vácuo e, por isso, falhas de *pick*.

Assim, a zona de *pick* de qualquer componente deve ser a zona central (parte cerâmica), tida como uma superfície mais uniforme do componente, com dimensões mínimas de 0,5 por 0,8 milímetros, como é possível verificar na figura 5.21. Utilizam-se as dimensões mínimas cedidas pelos vários fornecedores para que este estudo esteja realizado para o pior cenário.

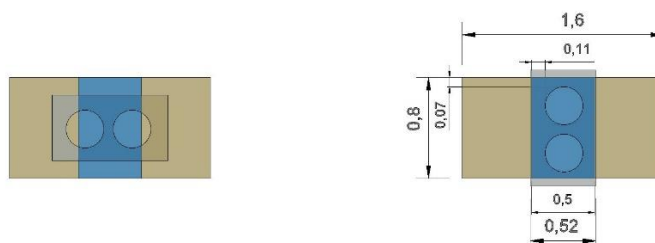


Figura 5.21 – *Nozzle* CPL3: Componentes 0603 (imagem em 2D sem tolerância)

Desta forma, conclui-se que a melhor solução para os componentes 0603 seria o CPL3 a 90 graus. Porém, outra variável é necessária ter em conta, os *feeders* são calibrados para uma tolerância de 100 μm . Assim, o componente pode variar no eixo dos y em 100 μm , obtendo-se a figura 5.22. Pela análise desta figura é possível concluir que, mesmo para a melhor opção (com o *nozzle* a 90 graus), irá ocorrer falha de vácuo e, por isso, falha de *pick*, uma vez que o furo do *nozzle* irá ficar fora da zona de *pick* em 0,03 milímetros.

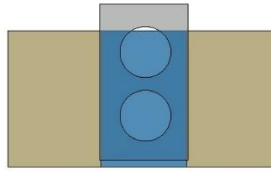


Figura 5.22 – *Nozzle* CPL3: Componentes 0603 (imagem em 3D com tolerância)

Em modo de conclusão, para a utilização do CPL3 em componentes 0603, será necessária a utilização de um *nozzle* CPL3 com um único furo central e a redução da tolerância dos *feeders* para pelo menos 60 μm .

Embora se conclua que o *nozzle* deve ser substituído por um CPL3 com um único furo, uma vez que isso implica alterações por parte do fornecedor, estudaram-se as restantes variáveis a fim de verificar se estas poderiam influenciar os elevados valores de falhas de *pick*.

Assim, em primeiro lugar, verificou-se que as outras duas posições onde é colocado o *part-number* do 13-2-1, não representam grandes falhas, nem de *pick* nem de *align*, pelo que se conclui que o problema não estará nas características do componente, mas sim numa das variáveis da máquina ou do *feeder*. Todas as variáveis anteriores à alteração do *feeder* foram testadas sem sucesso. Com a substituição do *feeder*, o número médio diário de falhas do componente 13-2-1 reduziu de 81 falhas por dia para 11 falhas por dia. Sendo que todas as falhas verificadas são falhas de *pick*, o que pode estar relacionado com o facto do *nozzle* em utilização não ser o adequado.

Relativamente ao *feeder* que foi trocado, verificou-se que foi trocada a peça que segura as *reels* ao *feeder*, que por não estar bem presa, provocava instabilidade da *reel*. Foi neste momento que se começou também a analisar os processos dos *feeders* que, como será futuramente abordado, tem inúmeras falhas e ineficiências.

- Posição 14-9-2

Em primeiro lugar verificou-se que o *part-number* colocado nesta posição não era colocado em mais nenhuma posição da máquina. Assim, procedeu-se à análise ao *nozzle* utilizado. Note-se que esta análise é feita tendo em conta o tamanho do componente, pelo que as conclusões retiradas para esta posição serão as mesmas para as posições 15-15-2, 19-22-1 e 10-10-2, pois todas colocam resistências 0402 e a análise realizada foi novamente tendo em conta o pior cenário.

Para esta análise, verificou-se, para as duas posições possíveis, qual o melhor *nozzle* a utilizar, começando com o estudo em Autocad, representado na figura 5.23. O CPL2 é um *nozzle* mais pequeno com um único furo central, ao contrário do CPL3.

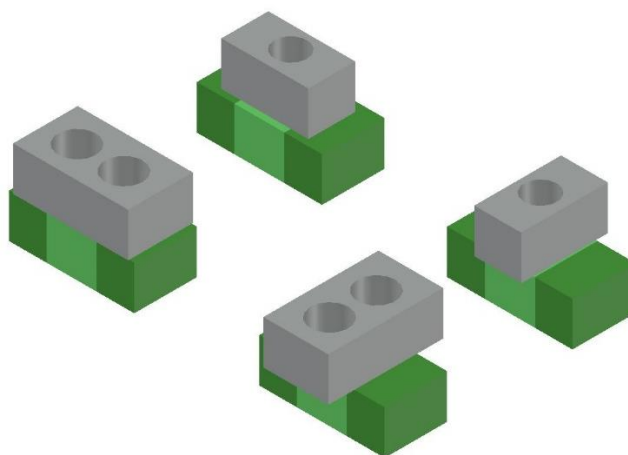


Figura 5.23 – *Nozzles*: Componentes 0402 (imagem em 3D)

Através da análise da figura 5.24 verifica-se que, com a utilização do CPL2 a 0 zero graus, caso exista o desnível entre a parte cerâmica central e as *weatable surfasses*, poderá existir falha de vácuo. O mesmo acontece para o *nozzle* em utilização, o CPL3 a 0 graus. Por outro lado, o CPL3 a 90 graus provoca elevadas falhas de *pick* pois os furos de vácuo ultrapassam claramente o tamanho do componente.

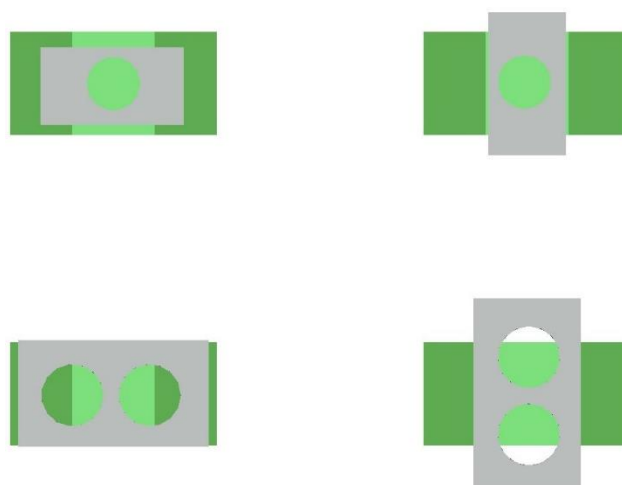


Figura 5.24 – *Nozzles*: Componentes 0402 (imagem em 2D)

Assim, reduz-se o estudo ao CPL2 que, como é possível verificar pelas figuras 5.25 e 5.26, se deverá optar pela posição a 90 graus, em que, com o limite da tolerância a 100 μm tem uma tolerância do furo de vácuo para fora do componente de 0,01 milímetros, que é uma tolerância muito reduzida. Assim novamente propõe-se a redução da tolerância de 100 μm para 50 μm .

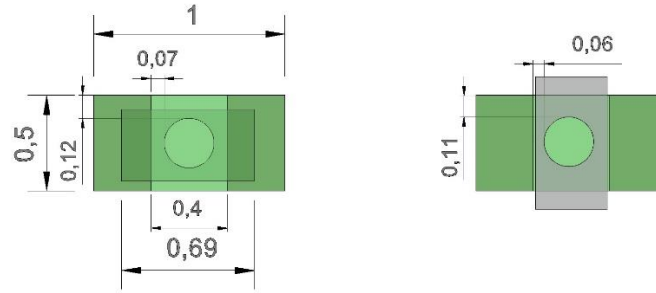


Figura 5.25 - *Nozzle* CPL2: Componentes 0402 (imagem em 2D)



Figura 5.26 - *Nozzle* CPL2: Componentes 0402 (imagem em 2D com tolerância)

Verificado que o *nozzle* em utilização para as restantes posições em estudo não é o correto, avisou-se as áreas interessadas de modo a que um novo programa pudesse ser criado e os *nozzles* devidamente alterados. No entanto, uma vez que a linha esteve parada durante duas semanas, não foi possível testar e verificar a melhoria de resultados. Assim, ficará a cargo da equipa *six sigma* a continuação do estudo, testando as conclusões a que se chegou, através do desenvolvimento de um DOE.

Prosseguiu-se com o estudo das restantes variáveis para cada uma das posições. No caso do 14-9-2, da análise da razão entre o tamanho do *pocket* e do componente concluiu-se que o *pocket* é demasiado grande para o tamanho do componente. Para esta conclusão, em primeiro lugar, observaram-se as imagens da máquina no ecrã “*adjust pick-up position*” onde, tal como é possível observar na figura 5.27, se verifica que o componente tem uma folga grande para o resto do componente, fazendo com que o componente se movimente dentro do *pocket*.



Figura 5.27 - Ecrã “*adjust pick-up position*”

No entanto, poderia existir outra razão para esta folga, poderia ser o componente que era de menor dimensão. Assim, com recurso a microscópio e em conjunto com o laboratório de metrologia foi possível concluir que o componente em estudo era de tamanho similar a outras Resistências 0402. Em seguida, comparou-se o *pocket* do 14-9-2 com o *pocket* do 19-22-1, verificou-se que a diferença era de 0,059 mm, em x, e 0,067 mm, em y. Esta diferença é claramente visível nas figuras 5.28 e 5.29, em que se testou o componente 19-22-1 no *pocket* 14-9-2, e onde existe uma clara folga, e o componente 14-9-2 no *pocket* 19-22-1, que se tem como *pockets* com tamanhos indicados.



Figura 5.28 - Componente 19-22-1 no *pocket* 14-9-2



Figura 5.29 - Componente 14-9-2 no *pocket* 19-22-1

Assim, conclui-se que para esta posição, duas medidas deverão ser postas em prática. A primeira diz respeito à troca do *nozzle* e posterior teste, através da utilização de DOE fazendo variar a tolerância para 60 do *feeder* e a posição do *nozzle* CPL2. A segunda medida diz respeito a um estudo que deverá ser realizado de modo a identificar o número médio diário de rejeitos dos componentes deste *part-number* nas restantes máquinas e nas restantes linhas de modo a verificar se existe ganho em contactar o fornecedor para que o *pocket* seja de dimensões mais pequenas, propondo as dimensões do *pocket* do *part-number* da posição 19-22-1.

- Posição 15-15-2

O *part-number* colocado nesta posição não era colocado em mais nenhuma outra posição da máquina, pelo que se procedeu ao estudo do tamanho do *pocket* versus o do componente e onde se concluiu que existia um tamanho aceitável para o *pocket* e para o componente, testando-se as restantes variáveis da máquina. Logo na observação do ecrã “*adjust pick-up position*” verificou-se que a passagem de um componente para outro era muito lenta, o que pode ter sido provocado por um problema no motor do *feeder*. Este *feeder* foi imediatamente trocado e nas restantes observações às falhas da máquina, esta posição não voltou a aparecer, pelo que se pode concluir que o problema estava efetivamente no *feeder*.

Porém com a troca do *feeder* pretendia-se seguir a sua manutenção e o seu historial de Manutenção e tal não foi possível pois identificou-se vários problemas no processo de manutenção de *feeders*. Esta análise, bem como as propostas inerentes a este problema serão apresentadas após a análise às restantes posições em estudo.

- Posição 19-22-1

Relativamente a esta posição, para além do *nozzle* em utilização ser o errado, como anteriormente explicitado, procedeu-se a uma análise às características do componente já que o *part-number* desta posição não é colocado em mais nenhum outro local da máquina. Deste estudo concluiu-se que as características do componente estão conformes e que esta não seria a razão principal para as elevadas falhas da máquina verificadas.

Em seguida, analisou-se o ecrã “*adjust pick-up position*” em que foi possível concluir que a posição de *pick-up* era estável. Assim, em seguida foi necessário limpar o laser que, como é possível verificar na figura 5.30 existiam impurezas que faziam com que se estivesse fora dos limites de tolerância e na figura 5.31 verifica-se como ficou o laser, após a limpeza.

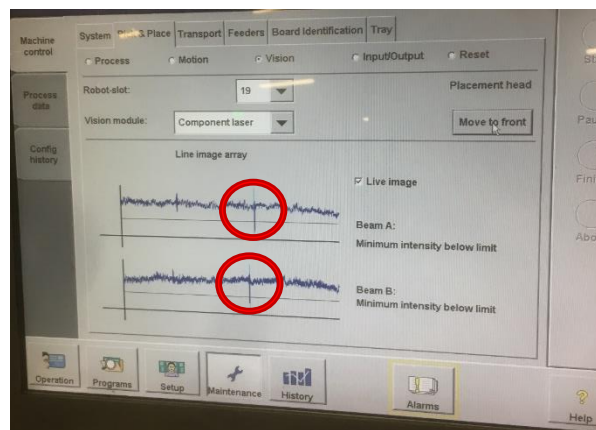


Figura 5.30 - Ecrã relativo à limpeza do laser antes da limpeza

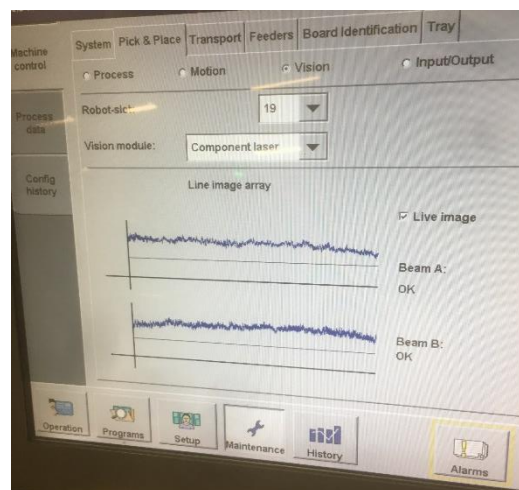


Figura 5.31 - Ecrã relativo à limpeza do laser após a limpeza

Após esta alteração no laser, os erros de pick e align na máquina mantiveram-se elevados, pelo que se reajustou o local de *pick* e os valores mantiveram-se elevados. Por fim procedeu-se a uma primeira troca de *feeder* e os valores de erros, ao invés de diminuir, como esperado, aumentaram, tal aconteceu porque os *feeders* na linha 2 arrançados e avariados não estão claramente divididos pelo que se concluiu que este era um *feeder* por arranjar. Finalmente trocou-se novamente o *feeder*.

Com esta última troca, o número de falhas diárias passou de 10 para 4 falhas, todas de *pick* que podem ser explicadas pela utilização errada do *feeder*.

Na última troca, a fim de não perder novamente o *feeder* em estudo ou de alguma das informações ser errada, levou-se o *feeder* à manutenção e observou-se o arranjo do mesmo. Verificou-se que existia um grande número de componentes dentro do *feeder* que, segundo a equipa de manutenção, pode provocar erros de *pick* do equipamento, tal como é possível verificar na figura 5.32.

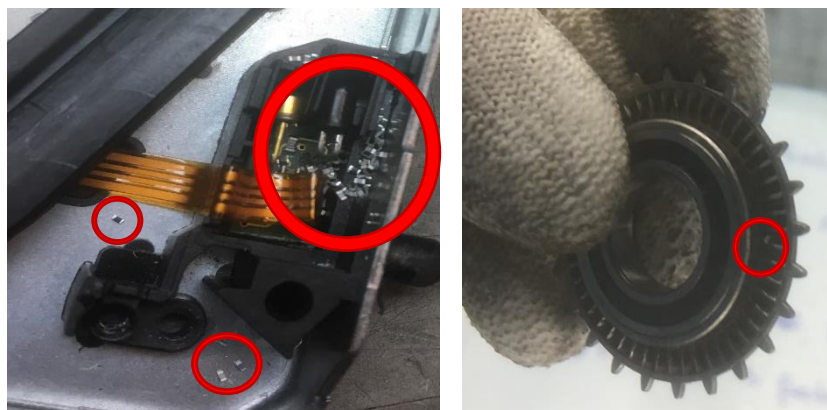


Figura 5.32 - Componentes no interior do *feeder* 19-22-1

- Posição 10-10-2

Para esta posição foi apenas necessário ajustar o *pick up* da máquina para que esta posição não voltasse a aparecer como posição mais falhada a nível de falhas de *pick* e *align*.

- Tolerance stack-up

Por fim, realizou-se um estudo de *Tolerance stack-up*, segundo o método “Pior cenário”, com o objetivo de entender para cada um dos casos (Peças 0402, com nozzle CPL2, a 90 graus, e Peças 0603 com nozzle CPL3, a 90 graus), a fim de comparar a tolerância máxima que se obtém no cenário atual e no cenário pretendido.

Assim, consideraram-se cinco variáveis no processo de *pick* e *align* do componente: dimensões do *pocket*, do componente, do *feeder* e do *nozzle*, e variação de calibração da máquina.

Relativamente às dimensões do *pocket*, os valores utilizados foram os do estudo realizado ao *pocket* da posição 14-9-2, em que se comparou as dimensões do mesmo com outros *pockets* de componentes de tamanho similar, e de onde se obteve uma diferença média em x e em y. Quanto às dimensões do componente, teve-se em conta a informação do fornecedor com os limites superior e inferior das suas medidas. No que diz respeito ao *feeder*, utilizou-se o valor atualmente utilizado para aceitar ou rejeitar um *feeder* após o arranjo na área de Manutenção. Quanto ao

nozzle, os valores obtidos tiveram em conta os valores cedidos pelo fornecedor em comparação com os valores medidos no laboratório de metrologia. Finalmente, para a variação da calibração da máquina, os valores obtidos foram recolhidos da última análise de capacidade da máquina, realizada a Setembro de 2018.

Desta forma, nas tabelas 5.13 e 5.14 apresentam-se os DOIs *tolerance stack-up*. De notar que os valores pretendidos foram obtidos tendo em conta a informação do fornecedor de que os *nozzles* estão preparados para fazer o *pick* correto do componente mesmo que metade do furo de vácuo esteja descoberto. De onde se obtém a diferença do atual para conseguir o pretendido e, a vermelho, os valores em que esta diferença é positiva, isto é, em que o pretendido é menor que o atual.

Tabela 5.13 - *Tolerance Stack-up* 0402 CPL2

0402 CPL2				
	Componente x		Componente y	
	+	-	+	-
Pocket	29	29	34	34
Componente	50	50	50	50
Feeder	100	100	100	100
Nozzle	3	3	12,5	12,5
Máquina	37	37	40	30
Total	219	219	236,5	226,5
Pretendido	190	190	240	240
Diferença	29	29	-3,5	-13,5

Tabela 5.14 - *Tolerance Stack-up* 0603 CPL3

0603 CPL3				
	Componente x		Componente y	
	+	-	+	-
Pocket	29	29	34	34
Componente	50	50	50	50
Feeder	100	100	100	100
Nozzle	15,5	15,5	16,5	16,5
Máquina	37	37	40	30
Total	231,5	231,5	240,5	230,5
Pretendido	260	260	220	220
Diferença	-28,5	-28,5	20,5	10,5

No entanto, basta reduzir a tolerância do *feeder* para respeitar os valores de tolerância pretendidos. Assim, propõe-se a redução de 100µm para 60µm, tido como o novo valor de tolerância do novo modelo de *feeders* existente na fábrica, de onde se obtém as tabelas 5.15 e 5.16.

Tabela 5.15 - *Tolerance Stack-up* 0402 CPL2 (após alteração de tolerância do *feeder*)

	0402 CPL2			
	Componente x		Componente y	
	+	-	+	-
Pocket	29	29	34	34
Componente	50	50	50	50
Feeder	60	60	60	60
Nozzle	3	3	12,5	12,5
Máquina	37	37	40	30
Total	179	179	196,5	186,5
Pretendido	190	190	240	240
Diferença	-11	-11	-43,5	-53,5

Tabela 5.16 - *Tolerance Stack-up* 0603 CPL3 (após alteração de tolerância do *feeder*)

	0603 CPL3			
	Componente x		Componente y	
	+	-	+	-
Pocket	29	29	34	34
Componente	50	50	50	50
Feeder	60	60	60	60
Nozzle	15,5	15,5	16,5	16,5
Máquina	37	37	40	30
Total	191,5	191,5	200,5	190,5
Pretendido	260	260	220	220
Diferença	-68,5	-68,5	-19,5	-29,5

Assim, pretende-se que, futuramente, sejam realizados DOE's, por parte da equipa de *Six Sigma*, de modo a testar, para cada posição dos *nozzles* propostos e para cada tolerância do *feeder*, quais os melhores parâmetros a utilizar, para cada componente, 0402 e 0603.

- Projeto de controlo de Manutenção de *feeders*

1. Fase de diagnóstico / Análise

Durante a análise e a diminuição de variabilidade foi possível concluir que existiam inúmeros problemas com o processo de manutenção de *feeders*, bem como com o controlo inerente ao mesmo.

Em primeiro lugar, quando um *feeder* é retirado de uma linha, não é necessário dar nenhuma informação ao sistema. Este *feeder* é colocado num carro de *feeders* avariados e arrançados onde não existe, na grande parte das linhas, a identificação do lado dos avariados e dos

arranjados, tendo por isto acontecido, numa das trocas de *feeders* realizada, a troca de um *feeder* avariado por outro também avariado, tal como anteriormente apresentado.

Para além disso, muitas vezes o operador ou o técnico, quando retira o *feeder* da linha não escreve o relatório, ou se o escreve acaba por cair no transporte até à manutenção. Este relatório é escrito num papel, que não se encontra disponível junto à linha, e que deve conter a informação da linha de onde foi retirado e a potencial razão para a avaria.

No que diz respeito à recolha dos *feeders* para a área de Manutenção, não existe um momento ou uma quantidade mínima de *feeders* arranjados que devem estar em *stock* nem uma quantidade máxima de *feeders* para arranjar. Em conversa com vários engenheiros e coordenadoras de linha, conclui-se que já ocorreu uma linha parar porque não tinham em *stock* nenhum *feeder* arranjado, ou tinham *feeders* do tipo simples, quando precisavam de *feeders* duplos, para substituir por um que teria avariado na linha. Pelo que se teve que ir à área de manutenção buscar um arranjado para que a linha voltasse a funcionar normalmente.

Quando o *feeder* chega à área de manutenção, deve ser inserido numa aplicação com a linha de origem, a data e hora de entrada na área de manutenção, a razão da avaria e a resolução. Quando sai deve conter a linha de destino. No entanto, uma vez que o técnico quando traz os *feeders* das linhas para a área de manutenção traz de diferentes linhas, e muitas vezes não contém relatório (7% dos *feeders* que estavam para arranjar tinham relatório), não é possível conhecer com certeza a linha de origem. Para além disso, quando vão arranjar, os *feeders* sem relatório obrigam a que o técnico realize todos os testes até descobrir a avaria, testes estes que levam em média 4 minutos e 22 segundos.

De notar que o *feeder* só é inserido na aplicação quando vai ser arranjado e que não existe qualquer ordem para este ser arranjado, pelo que existem *feeders* na área de manutenção que, segundo o técnico, podem estar na manutenção há anos.

Por fim, os *feeders* não possuem qualquer plano de Manutenção preventiva e existem *feeders* que, segundo o fornecedor já chegaram ao fim-de-vida, uma vez que um *feeder* deve ser utilizado, continuamente, apenas durante 4 anos.

2. Proposta de Melhoria

Embora esta proposta de melhoria não seja propriamente na restrição, considerou-se que estava diretamente relacionada com a mesma e que, para um bom funcionamento da mesma, é necessário que este processo seja redesenhado e totalmente controlado.

Assim, em primeiro lugar, desenhou-se um novo processo de Manutenção Corretiva dos *feeders*, tal como é possível observar pela figura C 13, em Anexos C. Para a concretização desta proposta, o sistema a utilizar proposto é o Mainti4, como substituto da atual aplicação de

Manutenção, já que se concluiu que esta aplicação não é capaz de dar resposta a todas as necessidades, quer da equipa de Manutenção, quer da equipa de Manufatura.

Para além da utilização do novo sistema todos os carrinhos junto às linhas devem ter um separador com a informação de *feeders* arrançados e por arranjar, e com uma informação visual de quando devem ser levados para a área de Manutenção (quando existem mais de quatro *feeders* avariados) e quando devem ser recolhidos *feeders* arrançados para a área de manutenção (quando existem menos de DOIs *feeders*, de cada tipo, arrançados), bem como um leitor de *labels*.

Com este novo sistema pretende-se que, assim que um *feeder* sai de uma das linhas seja inserido no sistema, através da leitura da *label* do mesmo. Tendo-se assim logo a identificação da linha de origem e o tipo de *feeder* para arranjar. Nesse momento em que o *feeder* é inserido o relatório deve ser realizado, no entanto, a sua concretização passa apenas por selecionar uma das razões disponíveis na lista de causas prováveis de avaria.

Com o *feeder* no local correto do carrinho da linha, devidamente identificado e com o relatório realizado (em formato eletrónico), o técnico recebe, através da aplicação Mainti4, a informação de que existem mais de 4 *feeders* para arranjar numa das linhas, e qual a linha em causa, bem como a informação de que existem menos de DOIs *feeders* arrançados numa das linhas (de cada tipo), recebendo um pedido para os recolher da linha ou da área de manutenção, respetivamente.

Na área de Manutenção, o arranjo dos *feeders* deve ser feito segundo a ordem dada pelo sistema, que terá em conta o número de *feeders* arrançados de cada tipo existem em cada uma das linhas, identificando o tipo que é mais necessário. Para além disso, a entrada na área de manutenção é feita pelo técnico de manutenção, através da leitura da *label*, passando o seu estado de *feeder* em trânsito para *feeder* em Manutenção para arranjar. O arranjo do *feeder* deve estar de acordo com o que está no relatório, tendo apenas que realizar os testes todos ao *feeder*, caso não seja essa a verdadeira razão de avaria.

Com o *feeder* arrançado na área de Manutenção, quando o técnico recebe a informação de que devem ser recolhidos *feeders* arrançados para uma das linhas, o técnico de Manutenção recebe a informação do tipo de *feeder* que está em falta e dá saída de um dos *feeders* desse tipo, de acordo com a informação da localização do *feeder* que deve sair.

Note-se ainda que quer a entrada quer a saída, no carrinho ou na área de Manutenção, é feita na localização dada pelo sistema, tendo os carrinhos e a estrutura de *feeders* avariados e arrançados de estar numerados.

Por outro lado, recomenda-se o desenvolvimento de um TPM para os *feeders* de modo a que passe a existir uma Manutenção Preventiva dos mesmos, que se deixará a cargo da equipa

Lean. Deverá ainda ser feito um levantamento dos *feeders* em fim de vida na área de Manufatura e avaliada a possibilidade de substituição dos mesmos.

- **Apresentação de A3**

Em modo de conclusão, considerou-se que a melhor forma de representar todas as melhorias apresentadas, bem como os passos para a sua concretização e acompanhamento seria recorrendo ao Relatório A3.

Assim, os A3 representativos de cada uma das propostas encontram-se disponibilizados em Anexos C.

5.4. Subordinação do Sistema (4ª Fase)

O sistema em estudo baseia o seu funcionamento numa filosofia *Pull* com recurso a *Kanbans*. No entanto, e uma vez que esta é uma empresa maioritariamente *Lean* com alguma cultura *Seis Sigma* mas sem nenhuma aplicação da TOC, estes *Kanbans* são apenas baseados na capacidade teórica da produção cedida pela equipa Engenharia da Produção.

Desta forma, de modo a subordinar o sistema à restrição, irá ser aplicada a ferramenta DBR da Teoria da Restrições. O primeiro passo desta ferramenta foi realizado no capítulo anterior, com a identificação da Restrição (do *Drum* ou Tambor), que deverá marcar o ritmo da produção e que deverá ser igual à procura de mercado. Tornando-se assim essencial a criação de um plano detalhado, tido como o segundo passo do DBR.

Inicialmente, foi desenvolvido um problema de otimização através do *Solver*, representado na figura 5.33, com o objetivo de maximizar o lucro obtido com o processamento de peças na restrição, sabendo que o plano tem que ser cumprido. Para além do plano mensal da restrição ter que, pelo menos, igualar o plano de prazos entrega diários, existiam outras duas restrições, a primeira dizia respeito ao facto de a capacidade diária da máquina não poder exceder as 16 horas diárias (com DOIs turnos em funcionamento), a segunda ditava que o número de placas trabalhadas terá que ser um número inteiro.

Note-se ainda que, para o cumprimento do número de horas diárias verificou-se o tempo de ciclo de cada um dos modelos na restrição e definiu-se que o somatório das peças produzidas multiplicadas pelo tempo de ciclo na restrição teria que ser menor que 16 horas (57600 segundos).

Deste modo, a Função objetivo é a maximização do somatório do lucro conseguido para cada um dos modelos produzidos, cujas variáveis de decisão correspondem à quantidade diária de cada um dos modelos do mix e as restrições são:

- Plano de prazos de entrega diários tem que ser respeitado, isto é, o mix produzido tem que ser pelo menos igual ao pedido;
- Capacidade diária máxima é de DOIs turnos (16 horas);
- O número de placas produzidas terá que ser um número inteiro.

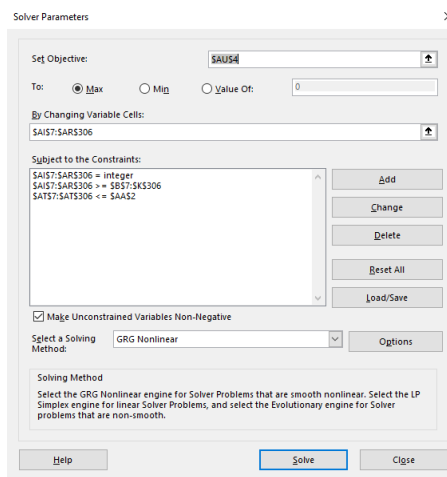


Figura 5.33 - Plano detalhado de acordo com a Maximização do Lucro

No entanto, ao basear o novo plano de produção na maximização do lucro, corre-se o risco de se perder o *mix* de produtos característico da linha. Assim, realizou-se um novo plano baseado na maximização da capacidade (número de placas produzidas por dia), tendo as mesmas restrições anteriormente mencionadas e, adicionalmente, que a percentagem de produzidos de cada modelo tinha que ser igual ao inicial.

Terminada a primeira fase do DBR, este é o momento de dimensionar o *buffer* (medido em unidades temporais). Para tal, aplicou-se a regra de Youngman, anteriormente referenciada, de reduzir para 50% o *lead time* desde o início do processo ao início da Restrição. No entanto, há que ter em consideração que a constituição deste *buffer* não pode ser feito imediatamente antes da restrição, isto porque após a colocação da solda por parte da MPM não pode ser constituído qualquer *buffer* uma vez que a solda pode secar antes da colocação de componentes à superfície pelas máquinas SMD.

Tendo isto em conta, torna-se essencial que as estações “Colocação de solda no lado *top*”, “SPI” e “Colocação de componentes por SMD1 *top*” funcionem com o mesmo tempo de ciclo. Para tal, para além da constituição do *buffer* segundo a regra de Youngman, será ainda acrescentado tempo de ciclo às estações “Colocação de solda no lado *top*” e “SPI” pelo aumento do tamanho do *conveyor* entre a colocação de labels e a MPM, garantindo que as placas chegam à restrição consoante a necessidade e sem que o reduzido tempo de ciclo da MPM e da SPI o influenciem.

Quanto ao *Rope* existe claramente uma calendarização, resultante do planeamento diário de produção realizado na primeira fase do DBR. Assim, este é o momento de inserir as novas variáveis no modelo de simulação.

Após várias tentativas chegou-se a um tamanho de *buffer* ideal de duas vezes o *lead time*, do início do processo à restrição, e o um aumento do comprimento do *conveyor* em 180 centímetros. Isto permitirá, para além de um grande aumento de produção total, tal como é possível constatar pela análise da tabela 5.17, como a restrição em estudo deixar de ser a estação com maior fila de espera, passando a ser a estação “Colocação de componentes por SMD2 *top*”.

Tabela 5.17 - Análise de resultados após a exploração e subordinação

Modelos	Number Out Arena antes da exploração e subordinação (produtos ao fim dos 300 dias)	Number Out Arena após a exploração e subordinação (produtos ao fim dos 300 dias)	Diferença antes e após a exploração (em placas/dia)
77c	67190	75618	15
2a	56754	63736	12
3a	121297	138335	29
4a	15335	17373	4
56a	28244	32156	4
ajr	40440	45880	5
ajs	3408	3868	1
d38	185344	211980	23
d37	96048	108380	11
qtg	17583	19986	3
Total	631 663	717312	107

5.5. Reavaliação da Restrição (5ª Fase)

A última fase do modelo proposto passa por uma reavaliação da restrição no sentido de verificar se a mesma foi ou não eliminada. Para tal, para além do redesenho de um novo VSM, será ainda feito um novo estudo de capacidade e uma nova corrida de simulação com os novos *inputs*.

5.5.1. Criação do Novo VSM

O novo VSM é criado numa ótica de Melhoria Contínua para que quando for iniciada uma nova iteração do modelo proposto seja possível à empresa avaliar de imediato o *Current State* do sistema.

Assim, foi criado um novo VSM, com o novo valor de tempo de ciclo da Restrição e o novo OEE. Adicionalmente, analisa-se o novo gráfico referente aos tempos de ciclo de cada

estação e o *takt time*, representado na figura 5.34, onde é possível verificar que a estação com maior tempo de ciclo passou a ser “Colocação de componentes por SMD2 top”.

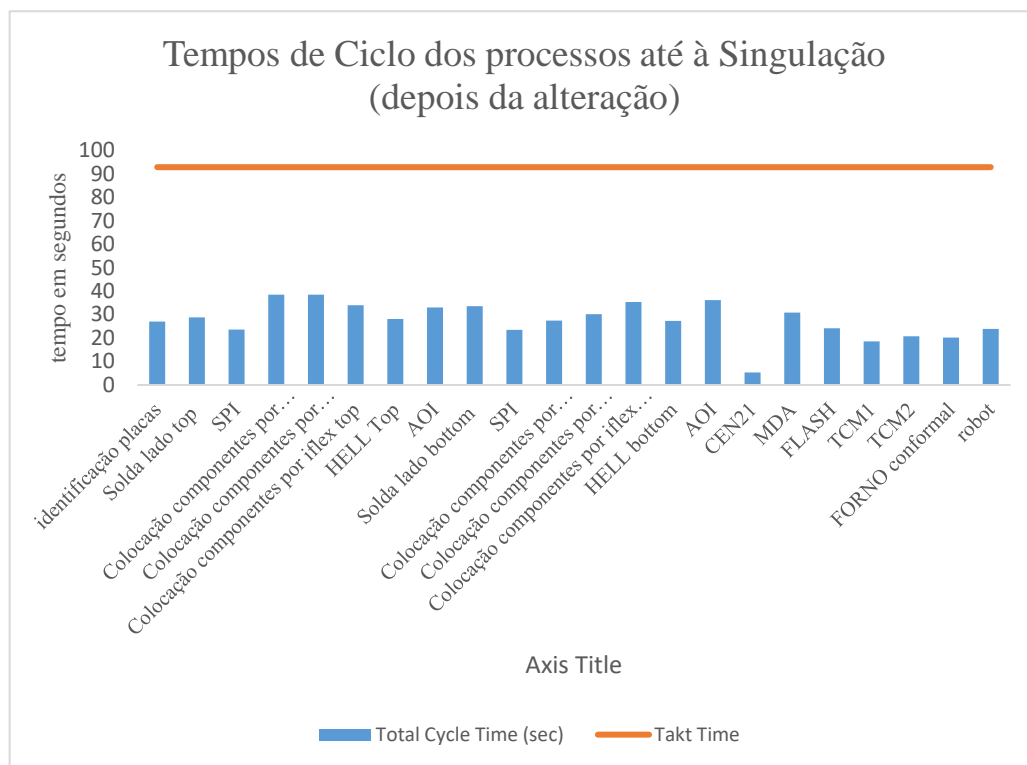


Figura 5.34 - Tempos de Ciclo dos processos até à singulação e Takt Time atuais

No caso em que, contrariamente ao verificado, o *takt time* inicialmente não ser cumprido, esta seria a fase para verificar se com as alterações realizadas na exploração da restrição e na subordinação do sistema tinham sido suficientes para este passar a ser cumprido. Neste caso, uma vez que o foco do estudo era no CCR, no subcapítulo seguinte, referente à análise de Capacidade será verificado se a Restrição em estudo foi ultrapassada, isto é, se o CCR passou a ser noutra estação.

5.5.2. Nova Análise de Capacidade

A fim de encontrar o novo CCR, foi calculada a nova capacidade na Restrição, após a sua exploração. A capacidade da restrição inicial aumentou em 7,24% de 286,68 para 307,45 peças/hora. Desta forma, a Restrição deixa de ser a “Colocação de componentes por SMD1 top” para passar a ser “Colocação de componentes por SMD2 top” e a nova capacidade da Linha passa a ser 6,39% superior à inicial, como é possível verificar pela tabela 5.18.

Tabela 5.18 - Nova Capacidade da linha

Identificação da estação	Descrição da tarefa	Capacidade total (placas/hora após as alterações)	Capacidade total (peças/hora após as alterações)	Capacidade total (peças/hora inicialmente)
OP1	Identificação placas	133,22	404,47	404,47
OP2	Solda lado <i>top</i>	124,86	400,95	400,95
OP3	Inspeção por <i>SPI</i>	152,66	500,46	500,46
OP4	Colocação componentes por SMD1 <i>top</i>	93,41	307,45	286,68
OP5	Colocação componentes por SMD2 <i>top</i>	93,39	305	305
OP6	Colocação componentes por <i>iflex top</i>	105,75	380,6	380,6
OP7	Cura da Solda no forno <i>HELL Top</i>	127,82	426,57	426,57
OP8	Inspeção por <i>AOI</i>	109,04	331,33	331,33
OP9	Solda lado <i>bottom</i>	106,97	360,75	360,75
OP10	Inspeção por <i>SPI</i>	152,82	505,4	505,4
OP11	Colocação componentes por SMD1 <i>bottom</i>	131,19	434,32	434,32
OP12	Colocação componentes por SMD2 <i>bottom</i>	119,06	309,6	309,6
OP13	Colocação componentes por <i>iflex bottom</i>	101,84	306,03	306,03
OP14	Cura da Solda no forno <i>HELL bottom</i>	131,90	444,87	444,87
OP15	Inspeção por <i>AOI</i>	99,46	295,92	295,92
OP16	Corte da placa mãe a meio por <i>CEN21</i>	669,42	662,03	662,03
OP17	Inspeção às condições elétricas por <i>MDA</i>	116,81	529,15	297,58
OP18	Inserção de <i>software</i> por <i>FLASH</i>	149,19	1055,51	564,89
OP19	Colocação de conformal no lado <i>top</i> por <i>TCM1</i>	193,63	388,65	388,65
OP20	Colocação de conformal no lado <i>top</i> por <i>TCM2</i>	173,03	324,86	324,86
OP21	Cura do conformal por forno de <i>conformal</i>	177,50	333,25	333,25
OP22	Singulação por <i>robot</i>	150,79	549,13	549,13
OP23	Finalização <i>inverter</i>	143,85	287,7	287,7

5.5.3. Simulação da Linha

Tal como referido no subcapítulo anterior, após a introdução dos novos *inputs* na simulação, referentes às melhorias propostas na exploração da restrição e na subordinação da restrição, a restrição deixou de ser a “Colocação de componentes por SMD1 *top*” para passar a ser a “Colocação de componentes por SMD2 *top*” por se tratar do local da linha onde existe maior acumulação de *WIP*. Para além desta estação as estações *AOI* lado *bottom* e *SMD3 bottom* representam também elevadas acumulações de *WIP*.

5.5.4. Identificação da Nova Restrição

Após as análises ao *VSM*, à Capacidade e à Simulação é possível concluir que a restrição inicial foi iniciada e que se deverá iniciar uma nova iteração ao modelo (sem que seja necessário aplicar as ferramentas de *Thinking Process* propostas no Modelo Híbrido). Por fim, verifica-se que a nova Restrição será a “Colocação de componentes por SMD2 *top*”.

Uma vez que o novo *CCR* se trata também de uma *insersora*, na próxima iteração do modelo, poderão ser implementadas as mesmas melhorias aplicadas na exploração da restrição. Nomeadamente, a alteração dos *POU*'s para a frente do forno, a aplicação dos carris, para um rápido *Changeover*, um estudo profundo às falhas de *pick* e *align* da máquina, entre outras.

Para além disso, destaca-se novamente a necessidade de alterar o processo atual de manutenção corretiva dos *feeders* bem como o benefício proveniente da implementação de TPM nos *feeders*.

5.6. Avaliação da Aplicação de SMED a um Sistema DBR

Com a aplicação do modelo híbrido concluída, uma vez implementada a ferramenta SMED à restrição, e o facto da empresa em estudo seguir uma lógica *Lean*, realizou-se um estudo SMED a toda a linha, disponibilizado em Anexos D. Assim, nesta fase será avaliado se, de acordo com o modelo desenhado, isto trará benefícios à linha em estudo ou se, por outro lado, trará instabilidade.

Segundo a lógica DBR, uma análise SMED só deve ser aplicada a outras estações se isto trazer benefícios à sincronização do restantes sistema, na fase de subordinação. Para além disso, a lógica SMED só deverá ser aplicada nas estações que subordinam a restrição, neste caso, a MPM e a SPI.

Neste sentido, com recurso ao *software* de simulação testou-se a hipótese de, juntamente com a aplicação do DBR, aplicar SMED às duas estações referidas (ver tabela 5.19).

Tabela 5.19 - SMED nas estações que subordinam a restrição

Modelos	Number Out Arena após a exploração (com DBR aplicado)	Number Out Arena após a exploração (com DBR e SMED nas estações que subordinam a restrição aplicados)	Diferença antes e após a aplicação de SMED
77c	75618	76026	408
2 A	63736	63791	55
3 A	138335	138063	-272
4 A	17373	17277	-96
56 A	32156	31972	-184
AJR	45880	45888	8
AJS	3868	3846	-22
D38	211980	211288	-692
D37	108380	109244	864
QTG	19986	20136	150
Total	717312	717531	219

Como já era de esperar isto não beneficiou a restrição aliás, provocou um aumento de 8,72% de aumento de *WIP* na restrição considerada, uma vez que no caso do *buffer* ser colocado antes da MPM, estas três estações devem trabalhar ao mesmo tempo, tanto quanto possível, como verificado no subcapítulo referente à subordinação do sistema. Por outro lado, existiu um aumento de 219 peças produzidas, como é possível verificar pela tabela 5.19. No entanto, isto trará grande instabilidade no sistema devido ao grande aumento de fila de espera na restrição. Assim, conclui-

se que, neste caso, a sincronização da restrição não beneficia com a aplicação de SMED às duas estações que a subordinam.

Por outro lado, e uma vez que o Caso de Estudo foi realizado numa empresa que baseia a melhoria dos seus processos na lógica *Lean*, avaliou-se ainda a possibilidade de aplicar SMED ao resto da linha de montagem, adicionalmente à aplicação do sistema DBR. Mesmo indo contra a teoria do DBR considerou-se importante avaliar esta hipótese. Assim, através da simulação verifica-se que não houve grande alteração na fila de espera antes da restrição (apenas uma redução de 1%), permanecendo a maior fila na estação “Colocação de componentes por SMD2 top”, tal como sem a aplicação da ferramenta SMED. No entanto, o número total de peças processadas ao fim dos 300 dias de Simulação reduziu de 717 312 peças (com apenas a aplicação do DBR) para 717 186 peças (com a aplicação do SMED a todo o sistema e do DBR em simultâneo), tal como é possível verificar pela tabela 5.20.

Tabela 5.20 - DBR e DBR / SMED (Análise comparativa)

Modelos	Number Out Arena após a exploração (com DBR aplicado)	Number Out Arena após a exploração (com DBR e SMED aplicados)	Diferença antes e após a aplicação de SMED a todo o sistema
77c	75618	75400	- 218
2 A	63736	63640	- 96
3 A	138335	138316	- 19
4 A	17373	17333	- 40
56 A	32156	32176	+ 20
AJR	45880	45948	+ 68
AJS	3868	3928	+ 60
D38	211980	212396	+ 416
D37	108380	108324	- 56
QTG	19986	19725	- 261
Total	717312	717186	- 126

Assim, conclui-se que caso a empresa opte pela adoção do Modelo Híbrido apresentado, é recomendado aplicar o DBR sem o SMED. No subcapítulo seguinte serão apresentados os resultados obtidos com a aplicação do modelo híbrido e brevemente apresentada a análise realizada para a empresa referente à aplicação de SMED e das melhorias aplicadas à restrição e nas restantes insersoras, isto é, segundo uma lógica *Lean* e Seis *Sigma*.

5.7. Análise de Resultados das Implementações

Neste subcapítulo serão analisados os principais resultados conseguidos, e esperados, com a implementação do modelo. Será ainda apresentada a análise realizada para a empresa relativamente aos resultados conseguidos com a implementação de todas as melhorias propostas pelo SMED, aplicado a todo o sistema, juntamente com todas as melhorias propostas à restrição,

e às restantes insersoras, isto é, uma análise à implementação das melhorias numa vertente *Lean* e Seis *Sigma*.

5.7.1. Modelo TLS

Numa linha com inúmeras fontes de desperdício e variabilidade era essencial criar um foco, foi neste sentido que se procedeu à identificação e exploração da restrição.

A exploração da restrição passou então por quatro grandes propostas. A primeira diz respeito à redução do tempo de *Changeover* na restrição. Para avaliar o novo tempo de *Changeover* foi verificado o número médio de *Changeovers* realizados ao longo de um dia (DOIs turnos) e a proporção do tipo de *changeovers* que existiram ao longo do tempo em estudo. Assim, foi possível calcular o tempo inicial que em média era perdido em *changeovers*, por dia, na restrição e o atual, tal como é possível verificar pela tabela 5.21. Assim, verifica-se uma redução de 49,2%.

Tabela 5.21 - Comparação de tempos de *changeover*

	ngi-ngi	ngi-upper	inv-inv	inv-ngi	inv-upper	upper-inv	ngi-inv
Tempo de mudança de setup inicial	19,67	19,67	19,67	290,75	290,75	290,75	290,75
Tempo de mudança de setup final	19,67	19,67	19,67	130,66	130,66	130,66	130,66
% tipo de <i>Changeover</i>	17,60%	12,20%	25,30%	23,50%	4,50%	7,20%	9,50%
Tempo inicial/dia	518,16 segundos						
Tempo final/dia	254,81 segundos						

A segunda proposta diz respeito à redução do tempo de ciclo da operação manual. Esta medida terá impacto na disponibilidade diária da operadora. Como verificado, as medidas propostas, quando totalmente aplicadas, irão permitir reduzir o tempo de ciclo de 144,81 segundos para 74,3 segundos, e ainda uma redução de 20 metros percorridos para 2,5 metros por operação.

Outra vertente importante no estudo desta estação diz respeito à redução de variabilidade do tempo de ciclo, que estaria a ser causado pelas falhas de *pick* e *align*. Assim, foi desenhado um ciclo de melhoria contínua, que poderá também ser aplicado noutras máquinas insersoras. Este ciclo de melhoria contínua permitiu reduzir de imediato as falhas diárias do 13-2-1 de 81 para 11, do 19-22-1 de 10 para 4 falhas diárias e o 10-10-2 que deixou de aparecer como mais falhados. Esta medida, como explicitado anteriormente tem potencial para reduzir em muito mais as falhas diárias, quando alterados os *nozzles* e as suas posições para as indicadas e quando for possível seguir o processo de Manutenção Corretiva dos *feeders*. O que remete o leitor para a última grande melhoria proposta que diz respeito ao redesenho do processo de Manutenção Corretiva dos *feeders* e a aplicação de Manutenção Preventiva aos *feeders*, através da aplicação de um TPM – *Total Productive Maintenance*.

Estas medidas, juntamente com a Subordinação do sistema, através da aplicação do DBR, permitiu um aumento de capacidade da linha de 6,39%. O aumento de capacidade foi ainda corroborado pela corrida de simulação em que se verificou que, após a exploração da restrição e subordinação do sistema foi possível aumentar em 85 649 unidades produzidas (107 placas diárias, equivalente a 140 peças adicionais por turno) ao fim dos 300 dias de simulação, traduzindo-se num aumento do lucro superior a 13% ao fim de um ano nesta linha.

5.7.2. Melhorias no Restante Sistema (Lógica *Lean* e *Six Sigma*)

Como explicitado anteriormente, esta empresa tem por base uma filosofia *Lean*, assim analisa-se agora a possibilidade das melhorias propostas para a restrição serem aplicadas às restantes insersoras da linha e, adicionalmente, a aplicação de SMED a todo o sistema, de modo a reduzir desperdícios e variabilidades em todo o processo produtivo, e não apenas na restrição, através da aplicação das ferramentas *Lean* e *Six Sigma* aplicadas anteriormente.

Desta forma, utilizou-se o modelo de Simulação, novamente, a fim de testar o “*Number Out*”, ao fim dos 300 dias úteis, caso se apliquem todas as melhorias propostas no SMED ao Sistema e, adicionalmente, se aplique todas as sugestões de melhoria propostas na fase de “Exploração da Restrição” às restantes insersoras. Pela análise da tabela 5.22 verifica-se que existe um aumento de 3,21% das peças produzidas ao fim de um ano.

No entanto, é importante referir que o investimento necessário para este aumento é bastante superior ao que seria feito se fosse aplicado o sistema híbrido. Isto adicionado ao facto de que o verdadeiro gargalo se encontra no mercado e não na linha pode-se concluir que a empresa deverá utilizar o sistema Híbrido TLS proposto.

Tabela 5.22 - Comparação de resultados (TLS vs LSS)

Modelos	<i>Number Out</i> Arena após a exploração com DBR aplicado (ao fim de 300 dias)	<i>Number Out</i> Arena numa vertente <i>lean six sigma</i> (ao fim de 300 dias)	Diferença (ao fim de 300 dias)	Diferença (placas/dia)
77c	75618	78573	2955	5
2a	63736	65926	2190	4
3a	138335	142434	4099	7
4a	17373	18048	675	2
56a	32156	32960	804	1
ajr	45880	47576	1696	2
ajs	3868	3906	38	1
d38	211980	217524	5544	5
d37	108380	112644	4264	4
qtg	19986	20715	729	1
Total	717312	740306	22994	32

Terminada a aplicação do modelo híbrido proposto e realizadas as análises de resultados da mesma, no próximo capítulo serão apresentadas as principais conclusões e as propostas para trabalhos futuros.

Capítulo 6 Conclusões Finais e Trabalhos Futuros

Em modo de conclusão, a implementação do Modelo TLS desenvolvido trará grandes benefícios ao sistema e à própria organização.

Neste capítulo serão apresentadas as principais conclusões e resultados conseguidos, bem como as contribuições para a empresa e para a comunidade científica do Modelo TLS proposto. Por fim, serão apresentados os eventuais trabalhos futuros.

6.1. Conclusões Finais

Para a concepção do modelo apresentado, foi realizada uma revisão bibliográfica relativa às principais ferramentas e lógicas da TOC, bem como apresentados alguns dos modelos híbridos *Lean Six Sigma*, *TOC Six Sigma*, *TOC Lean* e *TOC Lean Six Sigma*. Foram ainda apresentadas as principais forças, fraquezas e complementaridades entre as várias filosofias, de acordo com estudos desenvolvidos nos últimos anos.

A concepção do modelo híbrido baseou-se em modelos já existentes, nomeadamente o *Ultimate Improvement Cycle* de Sproull, adaptado por Silva (2015) e detalhado por Furtado (2017). Seguindo os cinco passos fundamentais da Teoria das Restrições, foi possível encontrar o foco para o aumento de capacidade, de uma linha repleta de oportunidades de melhoria, nomeadamente, de fontes de desperdício e variabilidades, que foram também tratadas através de abordagens *Lean* e *Seis Sigma* (LSS). Quanto à lógica *Thinking Process* proposta do modelo foi introduzida pois constatou-se que, em todos os modelos referidos e estudados, a elevação da restrição era realizada mesmo que a restrição não fosse eliminada, sem ser realizado um estudo relativo às razões para tal acontecer. Assim, considera-se fundamental reunir todas as pessoas envolvidas no processo, indireta e diretamente, para que, numa lógica *Thinking process* fosse possível identificar a causa raiz que impedia a não eliminação da restrição e desenvolver um plano de acção a partir da árvore de realidade futura, de pré-requisitos e de transição, de forma a eliminar a restrição identificada. Caso não seja identificado nenhum erro na implementação do modelo nem nenhuma oportunidade de melhoria, procede-se então à Elevação da Restrição por investimento.

Verificou-se ainda que numa linha multimodelo com elevada variabilidade é importante caracterizar esta variabilidade, agregando dados (neste caso, tempos de ciclo) e associando as distribuições estatísticas que melhor os caracterizavam. Para isto, utilizaram-se o SPSS, o *Sigma XL* e o *Data Analysis*, para verificar se era ou não permissível juntar tempos de ciclo de modelos

diferentes mas do mesmo produto e se estes poderiam ser estudados em conjunto. Para o ajuste à distribuição, utilizou-se o *Input Analyser* neste estudo, permitindo testar as alterações propostas ao longo da implementação do modelo e ainda identificar a restrição, inicial e a nova, após a primeira iteração do modelo

Assim, pode concluir-se que as principais contribuições deste novo desenvolvimento do modelo TLS foi a proposta de utilização do Thinking process na fase de elevação mantendo-se o tratamento de dados estatísticos, de acordo com o modelo já proposto em Lucas & Tenera (2014). Na fase de exploração, embora outros autores já tenham implementado ferramentas *Lean* e *Six Sigma* para a redução de desperdícios e variabilidades, neste modelo são identificados de forma clara ferramentas de identificação e melhoria para cada tipo de desperdício e algumas sugestões claras de ferramentas de identificação e melhoria de variabilidades.

Relativamente ao modelo TLS sugerido, com a implementação das melhorias apresentadas, foi possível aumentar a capacidade em 7,24%, o que se pode traduzir, de acordo com a simulação da linha em 107 placas diárias adicionais, havendo ainda um aumento ao fim dos 300 dias úteis de 13%.

Já no que diz respeito à lógica Lean concluiu-se que, aplicando o estudo SMED a toda a linha e aplicando as melhorias sugeridas para a restrição às restantes insersoras, irá permitir um aumento de 3,21% de peças produzidas ao fim de um ano, em comparação com a proposta anterior. No entanto o investimento necessário é superior ao da proposta de intervenção do modelo híbrido testado. Esta situação, adicionada ao facto de que a principal restrição do sistema estará no mercado conclui-se que a empresa deverá seguir nestas condições a indicação do modelo TLS estudado.

Em modo de conclusão, o objetivo de aumentar a capacidade da linha multimodelo estudada foi alcançado, neste primeiro ciclo de melhoria do modelo TLS implementado.

Por fim é importante referir o trabalho que ficou em curso ou por iniciar, tanto ao nível da empresa como ao nível de investigação e revisão bibliográfica, os quais se encontram apresentados na sessão seguinte.

6.2. Propostas de Trabalhos Futuros

O sistema produtivo em estudo era caracterizado por inúmeras fontes de desperdício e variabilidade. No entanto, não existia nenhuma equipa de melhoria contínua formada responsável pela recolha, acompanhamento e melhoria de *KPI*. Verificou-se que muitos dos eventos *Kaizen* e *VSM* das linhas de montagem já não estavam válidos.

Desta forma, um dos grandes trabalhos futuros, e provavelmente o mais importante, passa pela formação de uma equipa de Melhoria Contínua que possa, não só acompanhar as melhorias propostas e implementadas, como também por iniciar um novo ciclo de melhoria contínua do modelo proposto, e do modelo de melhoria contínua também desenvolvido, referente às falhas de *pick* e *align*.

Embora tenham sido implementadas muitas das melhorias propostas existem algumas análises que não terão sido possíveis concluir é neste sentido que surgem oportunidades de trabalho futuro, nomeadamente, os DOE's, já anteriormente referidos, com o objetivo de testar, para cada posição dos *nozzles* propostos e para cada tolerância do *feeder*, quais os melhores parâmetros a utilizar, para cada componente, 0402 e 0603.

Outra análise interessante será uma análise financeira, especialmente necessária para o caso de a empresa optar por uma ótica unicamente *Lean*. Nesta análise será verificado o investimento necessário para cada uma das medidas, avaliando cada medida numa ótica de custo-benefício.

Outra questão é o processo de Manutenção de *feeders* em que, tal como verificado, é necessário implementar um TPM de modo a assegurar uma Manutenção preventiva ao invés da atual filosofia em que apenas existe Manutenção corretiva. Ainda relativamente a este processo, propôs-se um novo processo de manutenção corretiva de *feeders* que permitia um maior controlo dos mesmos e assegurar que nunca nenhuma linha da fábrica poderá parar por falta de *feeders* arranjados na linha.

Referências bibliográficas

- AICEP Portugal Global. (2016). “Indústria Automóvel e Componentes”. Aicep Portugal global, 87 | 2016, 6-62. Disponível em: <http://www.portugalglobal.pt/PT/RevistaPortugalglobal>
- Albliwi, S., Antony, J., Abdul, S. e Lim, H. (2015). “A systematic review of Lean Six Sigma for the manufacturing industry”. *Business Process Management Journal*. 21(3). 665–691. DOI: 10.1108/BPMJ-03-2014-0019.
- Atwater, J., e Chakravorty, S. (2002). “A Study of the Utilization of Capacity Constrained Resources in Drum-Buffer-Rope Systems”. *Production and Operations Management*. 11 (2). 259–273. DOI: 10.1111/j.1937-5956.2002.tb00495.x.
- Banco de Portugal. (2016). “Análise do setor automóvel 2011-2016”, Nota de informação estatística 124 | 2016. 1-4. Disponível em: https://www.bportugal.pt/sites/default/files/anexos/documentos-relacionados/nie_estudo_14_2013.pdf
- Balakrishnan, J., Cheng, C., e Trietsch, D. (2008). “The Theory of Constraints in Academia : Its Evolution, Influence , Controversies , and Lessons”. *Operations Management Education Review*. 2. 97–114. DOI: 10.11575/PRISM/33938.
- Balderstone, S. e Mabin, V. (1999) “The World of the Theory of Constraints: A Review of the International Literature (The CRC Press Series on Constraints Management)”. CRC Press. 1ed. Boca Raton.
- Banerjee, A., e Mukhopadhyay, S. (2016). “A Contemporary TOC Innovative Thinking Process in the Backdrop of Leagile Supply Chain”. *Journal of Enterprise Information Management* 29 (3): 400–431. DOI:10.1108/JEIM-08-2014-0086.
- Blackstone, J. (2001). “Theory of Constraints – A Status Report.” *International Journal of Production Research* 39 (6): 1053–1080. DOI:10.1080/00207540010028119
- Bhardwaj, A., Gupta, A., e Kanda, A. (2010). “Drum-buffer-rope: The technique to plan and control the production using theory of constraints”. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 70(9), 784–787.
- Breen, A., Burton-Houle, T. e Aron, D. (2002). “Applying the Theory of Constraints in Health Care: Part 1—The Philosophy”. *Quality Management in Healthcare* 10 (3): 40–46. DOI: 10.1097/00019514-200210030-00010.
- Cattaneo, C., e Bassani, G. (2016). “The TOC Thinking Process: The Viability of Change”. *Human Systems Management* 35 (4): 301–323. DOI: 10.3233/HSM-161616.
- Cerveny, J., e Galup, S. (2002). “Critical Chain Project Management Holistic Solution Aligning Quantitative and Qualitative Project Management Methods.” *Production and Inventory Management Journal* 43 (3/4): 55–64. ISSN: 08978336.

Chaudhari, C., e Mukhopadhyay, S. (2003). “Application of Theory of Constraints in an Integrated Poultry Industry.” *International Journal of Production Research* 41 (4): 799–817. DOI:10.1080/0020754031000065548.

Cheng, C. (2010). “Theory of Constraints in Prisons.” In *Theory of Constraints Handbook*, edited by J. F. Cox III, and J. G. Schleier, 813–841. New York, NY: McGraw-Hill.

Chiou, C., Jhang, T., Deng, Y., Tsai, J., e Perng, C. (2014). “Applying lean and TOC to improvement delivery performance for machine tool manufacturers”. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, 2015, 953–957. DOI: 10.1109/IEEM.2014.7058779

Cohen, O. (2006). “The core structure of TOC Thinking Processes and their application to improve systems (The «U» Shape)”. *TOCICO Conference 2006*. Disponível em: <https://www.toc.tv/TV/video>

Cohen, O. (2010). “Daily Management with TOC”. In *Theory of Constraints Handbook*, edited by J. F. Cox III, and J. G. Schleier, 671–728. New York: McGraw-Hill.

Coman, A., e Ronen, B.. (2007). “Managing Strategic and Tactical Constraints in the Hi-Tech Industry.” *International Journal of Production Research* 45 (4): 779–788. DOI: 10.1080/00207540600597237.

Cooper, M., e Loe, T.. (2000). “Using the Theory of Constraints’ Thinking Processes to Improve Problem-Solving Skills in Marketing.” *Journal of Marketing Education* 22 (2): 137–146. DOI: 10.1177/0273475300222008.

Costa, J., Rozenfeld, H., Amaral, C., Marcacinit, R., e Rezende, S. (2013). “Systematization of Recurrent New Product Development Management Problems.” *Engineering Management Journal* 25 (1): 19–34. DOI: 10.1080/10429247.2013.11431963.

Cox, J., Blackstone, J., e Schleier, J. (2003). “Managing Operations: A Focus on Excellence”. Great Barrington, MA: North River Press

Cox III, J., Boyd, L., Sullivan, T., Reid, R., e Cartier, B. (2012). “TOCICO Dictionary”. 1–135. Disponível em: <http://www.tocico.org/?page=dictionary%5Cn>

Cox III, J., e Robinson, E. (2017). “Applying Goldratt’s thinking processes to prevent mistakes”. *Human Systems Management*, 36(4), 315–340. DOI: 10.3233/HSM-17116

Cox III, J., e Schleier, J. (2010). “Theory of constraints Handbook”. New York: McGraw-Hill.

Cox, J., Blackstone, J., e Schleier, J. (2003). “Managing Operations: A Focus on Excellence”. Great Barrington, MA: North River Press.

Cruz, N. (2013). “Implementação de ferramentas Lean Manufacturing no processo de injeção de plásticos”. *Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial*. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1822/26677>.

Dalci, I., e Kosan, L. (2012). “Theory of Constraints Thinking-Process Tools Facilitate Goal Achievement for Hotel Management: A Case Study of Improving Customer Satisfaction.” *Journal of Hospitality Marketing & Management*. 21 (5). 541–568. DOI: 10.1080/19368623.2012.626751

de Souza, F., Sobreiro, V., Nagano, M. e Manfrinato, J. (2013). “When Less is Better: Insights from the Product Mix Dilemma from the Theory of Constraints Perspective.” *International Journal of Production Research*. 51 (19). 5839–5852. DOI:10.1080/00207543.2013.802052.

de Souza, M., Souza, T., e Vaccaro, G.. (2016). “Hospital Bed Management: An Analysis From the Perspective of the Theory of Constraints.” *Revista Espacios*. 37 (30). 1–19. DOI: 10.1108/BPMJ-06-2016-0118.

Dettmer, H. (1997). “Goldratt’s Theory of Constraints: A Systems Approach to Continuous Improvement”. Ed.1. Milwaukee: ASQC Quality Press.

Dettmer, H. (2003). “Strategic navigation: a systems approach to business strategy”. Ed.1. Milwaukee: ASQC Quality Press.

Dettmer, H. (2007). “The logical thinking process a systems approach to complex problem solving”. Ed.1. Milwaukee: ASQ Quality Press.

Ehie, I. (2005). “Integrating six sigma and theory of constraints for continuous improvement: a case study”. *Journal of Manufacturing Technology Management*. 16(5). 542–553. DOI: 10.1108/17410380510600518.

Fawcett, E. e Pearson, J. (1991). “Understanding and Applying Constraint Management in Today's”. *Production and Inventory Management Journal*. 32(3). 46. DOI: 10.1108/01443570810903122.

Filho, R. Pacheco, T. Pergher, D., Vaccaro, I. e Antunes, J. (2016). “A new approach for decision making in distribution supply chains: a theory of constraints perspective”. *International Journal Logistics Systems and Management*, 25(2), 266–282. DOI: 10.1504/IJLSM.2016.078916.

Foster, W. (2001). “And then there were nine layers of resistance”. *Constraints Management - Technical Conference Proceedings*. 144. 47-48.

Furtado, M. (2017). “Sugestão de Operacionalização de um Modelo TLS na Indústria Corticeira”. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial. Disponível em: <https://run.unl.pt/handle/10362/21795>.

Garrett, D. (2011). “Lean Construction Submittal Process — A Case Study”. *Quality Engineering Journal*. 23(1). 84–93. DOI: 10.1080/08982112.2010.495100.

Gaspar, M. (2019). “Aplicação da Teoria das Restrições à Gestão de Programas Lean Operacionais”. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial.

Gaspar, M., Cristóvão, L., e Tenera, A. (2019). “Theory of Constraints Thinking Processes on Operational Lean Programs Management Improvement: An Energy Producer Company Case”.

Technological Innovation for Industry and Service Systems. 553. 125-142. DOI: 10.1007/978-3-030-17771-3_11.

Ghorbani, M., Arabzad, M., Shirouyehzad, H. e Shahin, A. (2014). “Developing a Logical Model for Cellular Manufacturing Systems by Theory of Constraints Thinking Process Approach”. *International Journal of Logistics Systems and Management* 18 (2). 270– 282. DOI: 10.13140/2.1.4309.0560

Goldratt-Ashlag, E. (2010). “The layers of resistance – The buy-in process according to TOC”. In *Theory of Constraints Handbook*, edited by J. F. Cox III, and J. G. Schleier. 571–586. New York: McGraw-Hill.

Goldratt, E. (1990). “What is this thing called Theory of Constraints and how should it be implemented?”. Ed. 1. Great Barrington, MA: North River Press.

Goldratt, E. (1996). “My saga to improve production”. *APICS - The Performance Advantage*.

Goldratt, E. (1997). “Critical Chain”. Ed. 1. Great Barrington, MA: North River Press.

Goldratt, E., e Cox, J. (1984). “The Goal: A process of ongoing improvement”. Ed. 1. Great Barrington, MA: North River Press..

Goldratt, E., e Cox, J. (2004). “The Goal: A Process of Ongoing Improvement”. Ed. 1. Great Barrington, MA: North River Press.

González, M., Gonçalves, J. e Vasconcelos, R.. (2017). “Sustainable Development: Case Study in the Implementation of Renewable Energy in Brazil.” *Journal of Cleaner Production*. 142. 461–475. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.10.052

Groop, J., Ketokivi, M., Gupta, M. e Holmström, J. (2017). “Improving Home Care: Knowledge Creation Through Engagement and Design.” *Journal of Operations Management* 53(56). 9–22. DOI:10.1016/j.jom.2017.11.001.

Gupta, M. e Boyd, L. (2008), "Theory of constraints: a theory for operations management", *International Journal of Operations & Production Management*, 28(10). 991- 1012. DOI: 10.1108/01443570810903122

Gupta, A., Bhardwaj, A., e Kanda, A. (2010). “Fundamental Concepts of Theory of Constraints : An Emerging Philosophy”. *International Journal of Social, Behavioral, Educational, Economic, Business and Industrial Engineering*. 4(10). 2089–2095. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042814051532>

Gupta, M. (2001). “Activity-Based Throughput Management in a Manufacturing Company.” *International Journal of Production Research*. 39 (6). 1163–1182. DOI: 10.1080/00207540010023556

Gupta, M., e Andersen, S. (2018). “Throughput/Inventory Dollar-Days: TOC-Based Measures for Supply Chain Collaboration.” *International Journal of Production Research*. 1–17. DOI:10.1080/00207543.2018.1444805.

Gupta, M., Boyd, L. e Sussman, L. (2004). “To Better Maps: A TOC Primer for Strategic Planning.” *Business Horizons*. 47 (2). 15–26. DOI: 10.1016/j.bushor.2003.10.001.

Harmony. (2018). What is Strategy & Tactic Trees? Disponível no site: <https://www.harmonytoc.com/>

Hua, Z., Coulibaly, S. e Wang, W. (2006). “TOC & TRIZ Based Product Design Method and its Application.” *Computer Integrated Manufacturing Systems-Beijing*. 12 (6). 817–822. ISSN: 1006-5911.

Hunink, M. (2001). “In Search of Tools to Aid Logical Thinking and Communicating About Medical Decision Making.” *Medical Decision Making*. 21 (4). 267–277. DOI: 10.1177/02729890122062569.

Mercado, C. (2014). “O modelo itls tm – integração da teoria das restrições, lean manufacturing e seis sigma: análise da aplicação do itls tm na redução do lead time em uma cadeia de valor em multinacional no brasil”. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia da Produção. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1884/36361>

Ikeziri, L., de Souza, F., Gupta, M. e Fiorini, P. (2019) “Theory of constraints: review and bibliometric analysis”. *International Journal of Production Research*. 57(15). 5068-5102. DOI: 10.1080/00207543.2018.1518602

Inácio, D. (2016). “Contributos para a melhoria da eficiência de uma linha de produção da indústria automóvel”. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10362/19101>.

Iranmanesh, M., Siti-Nabiha, A. e Sabbah, M. (2012). “The Retention of Trained Production Workers in a Small Manufacturing Company in Malaysia.” *International Journal of Entrepreneurship and Small Business*. 16 (1). 71–82. DOI: 10.1504/IJESB.2012.0469.

Jacobs, F. (1984). “OPT Uncovered: Many Production Planning and Scheduling Concepts Can be Applied with or Without the Software.” *Industrial Engineering* 16 (10). 32–41.

Jin, K., Abdul-Razzak, H., Elkassabgi, Y., Zhou, H. e Hyder, A. (2009). “Integrating the Theory of Constraints and Six Sigma in Manufacturing Process Improvement”. *International Scholarly and Scientific Research & Innovation*. 3(1). 85–89. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/bbe9/71923440ed304e53e3ad00618cd17635b4d9.pdf>

Kasemset, C. (2011). “A Review on Quality Improvement and Theory of Constraints (TOC)”. 2011 IEEE International Conference on Quality and Reliability. 327–330. DOI: 10.1109/ICQR.2011.6031735.

Kim, S., Cox, J. e Mabin, V. (2010). “An Exploratory Study of Protective Inventory in a Re-Entrant Line with Protective Capacity.” *International Journal of Production Research*. 48 (14). 4153–4178. DOI:10.1080/00207540902991666.

Kim, S., Mabin, V. e Davies, J. (2008). “The Theory of Constraints Thinking Processes: Retrospect and Prospect.” *International Journal of Operations and Production Management*. 28 (2). 155–184. DOI:10.1108/01443570810846883

Lacerd, D., Pergher, I. e Rodrigues, L. (2011). “Discussão teórica sobre o conceito de perdas do Sistema Toyota de Produção: inserindo a lógica do ganho da Teoria das Restrições”, *Gestão & Produção*. 18 (4). 673-686. DOI: 10.1590/S0104-530X2011000400001

Lacerda, D., e Rodrigues, L. (1998). “Processo de pensamento da Teoria das Restrições: Uma abordagem para compreensão, aprendizagem e ação sobre problemas complexos”. *Perspectivas em Gestão & Conhecimento*. 1(2). 59-76. ISSN: 2236-417X.

Lacerda, D., Rodrigues, L., Silva, A. (2008). “Avaliação da sinergia entre a engenharia de processos e o processo de pensamento da teoria das restrições”. *Produção*. 21(2). 284-300. DOI: 10.1590/S0103-65132011005000019.

Lambert, M. e Segart, A. (1990). “Buffer stock allocation in serial and assembly type of production lines”. *International Journal of Operations and Production Management*. 47-61. ISSN: 0144-3577.

Leach, L. (1999). “Critical Chain Project Management Improves Project Performance.” *Project Management Journal*. 30 (2). 39–51. DOI: 10.1080/10429247.2005.11431672.

Liu, S., Song, J. e Tang, J.. (2006). “Critical Chain Based Approach for Resource-Constrained Project Scheduling.” 32 (1). 60–66.

López, R., e Grasel, D. (2016). “Implantação da teoria das restrições (toc) através da árvore de realidade atual (ara): Estudo de Caso em uma Unidade Fabril da Indústria Metalúrgica”. *Revista de Estudos Sociais*. 18. 71–95. DOI: 10.19093/res.v18i37.3709.

Lowalekar, H., e Ravi, R. (2017). “Revolutionizing Blood Bank Inventory Management Using the TOC Thinking Process: An Indian Case Study.” *International Journal of Production Economics*. 186. 89– 122. DOI: 10.1016/j.ijpe.2017.02.003.

Lucas, D. J. (2014). “Simulação de uma linha de produção com elevada variabilidade: uma abordagem Teoria das Restrições / DBR”. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10362/14889>.

Lucas D., e Tenera A. (2014). “Input Analysis in Simulation: A Case Study Based on the Variability in Manufacturing Lines”. *Proceedings of the Eighth International Conference on Management Science and Engineering Management. Advances in Intelligent Systems and Computing*, 280. DOI: 10.1007/978-3-642-55182-6_40

Mabin, V. (1999). “Goldratt’s «Theory of Constraints» Thinking Processes: A Systems Methodology linking Soft with Hard”. Disponível em <https://pdfs.semanticscholar.org/cc20/18bf65be1423ce284e2289db36a625692a01.pdf>.

Mabin, V., e Davies, J. (2010). “The TOC Thinking Process: Their Nature and Use - Reflections and Consolidation”. In *Theory of Constraints Handbook*, edited by J. F. Cox III, and J. G. Schleier. 631– 670. New York: McGraw-Hill.

Mabin, V., Davies, J., e Cox III, J. (2006). “Using the Theory of Constraints Thinking Processes to complement system dynamic’s causal loop diagrams in developing fundamental solutions”. *International Transactions in Operational Research*, 13(1). 33–57. DOI: 10.1111/j.1475-3995.2006.00532.x.

Mabin, V., Forgeson, S., e Green, L. (2001). “Harnessing resistance: Using the Theory of Constraints to assist change management”. *Journal of European Industrial Training*. 25(2/3/4). 168–191. DOI: 10.1108/EUM0000000005446.

Mabin, V., e Balderstone, S. (2003). “The performance of the theory of constraints methodology”. *International Journal of Operations & Production Management*. 23(6). 568–595. DOI: 10.1108/01443570310476636

Maia, L., Alves, A. e Leão, C. (2013). “Metodologias Para Implementar Lean Production: Uma Revisão Critica De Literatura”. *Journal of Cleaner Production*. 85(2). 1–7. DOI: 10.1080/09537287.2013.780314

McMullen, T. (1998). “Introduction to the Theory of Constraints (TOC) Management System” (The CRC Press Series on Constraints Management). CRC Press. 1ed. Boca Raton.

Mercado, C. (2014). “O modelo iTLS tm - integração da teoria das restrições, Lean Manufacturing e Seis Sigma: análise da aplicação do iTLS tm na redução do Lead Time em uma cadeia de valor em multinacional no Brasil”. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia de Produção. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1884/36361>.

Moura, E. (2012). “Using TOC-TP as a Guide to Integrate Lean, Six Sigma, Process Management and TOC Solutions for Business Improvement”. *Tocico*. 1–15. Disponível em: http://c.ymcdn.com/sites/www.tocico.org/resource/resmgr/2012_conf_pdfs/moura,_eduardo_toc-tp_as_a_g.pdf

Muraliraj, J. (2017). “Annotated methodological review of Lean Six Sigma”. *Internacional Journal of Lean Six Sigma*. 9. 2040-4166. DOI: 10.1108/IJLSS-04-2017-0028.

Lago, N. Carvalho, D. e Ribeiro, L. (2008). “Contribuições técnicas”. *Lean Office*. 6-8. Disponível em: <http://lean.dps.uminho.pt/ArtigosRevistas/LeanOffice.pdf>

Okimura, L. (2013). “Uma exploração dos modelos de uso integrado da teoria das restrições, produção enxuta e seis sigma”. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia de Produção. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/93078>

Pacheco, D. (2014a). “Theory of Constraints and Six Sigma: Convergences, Divergences and Research Agenda for Continuous Improvement”. *Independent Journal of Management & Production*. 5(2). 331–343. DOI:10.14807/ijmp.v5i2.150.

Pacheco, D. A. de J. (2012). “Integrando a Estratégia De Produção Com a Teoria Das Restrições, Lean Manufacturing E Seis Sigma: Uma Abordagem Metodológica”. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia de Produção. Disponível em: <http://www.repositorio.jesuita.org.br/handle/UNISINOS/2981>.

Pacheco, D. A. de J. (2014b). “Teoria das Restrições, Lean Manufacturing e Seis Sigma: limites e possibilidades de integração”. *Production*. 24(4). 940-956. DOI: 10.1590/S0103-65132014005000002.

Patrício, M., Ferreira, F., Oliveiros, B., e Caramelo, F. (2017). “Comparing the performance of normality tests with ROC analysis and confidence intervals”. *Communications in Statistics: Simulation and Computation*, 46(10), 7535–7551. DOI: 10.1080/03610918.2016.1241410

Patwardhan, M., Sarria-Santamera, A. e Matchar, D. (2006). “Improving the Process of Developing Technical Reports for Health Care Decision-Makers: Using the Theory of Constraints in the EvidenceBased Practice Centers.” *International Journal of Technology Assessment in Health Care*. 22 (1). 26–32. DOI: 10.1017/S026646230605080X.

Pegels, C. e Watrous, C. (2005). “Application of the theory of constraints to a bottleneck operation in a manufacturing plant”. *Journal of Manufacturing Technology Management*. 16(3). 302–311. DOI: 10.1108/17410380510583617.

Pinto, L. e Tenera, A. (2014). “A Lean Six Sigma (LSS) project management improvement model”. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 119 (2014). 912 – 920. DOI: 10.1016/j.sbspro.2014.03.102.

Porsche, G., Roos, D., e That, T. (1996). “Beyond Toyota : How to Root Out Waste and Pursue Perfection”. Disponível em <https://pdfs.semanticscholar.org/cd5a/6aab5cc62905c0e31cb04aeacf8f25e2a1b6.pdf>.

Quintaneiro, S. (2014). “Uma perspectiva Lean Seis Sigma na Melhoria Contínua de um Sistema Logístico de Produção”. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10362/14242>.

Raban, S. e Nagel, R. (1991). “Constraint-based control of flexible flow lines”. *International Journal of Production Research*. 29(10). 1941-1951. DOI: 10.1080/00207549108948059

Razali, N., Shamsudin, N., Maarof, N., Hadi, A., e Ismail, A. (2012). “A comparison of normality tests using SPSS, SAS and MINITAB: An application to health related quality of life data”. *ICSSBE 2012 - Proceedings, 2012 International Conference on Statistics in Science, Business and Engineering: “Empowering Decision Making with Statistical Sciences,”* 267–272. DOI: 10.1109/ICSSBE.2012.6396570

Reginato, G., Anzanello, M., Kahmann, A., e Schmidt, L. (2015). “Balanceamento de linha de montagem mista em cenários com distintos mix de produtos”. *Gestão & Produção*. 23(2). 294–307. DOI: 10.1590/0104-530x1874-14

Rahman, S. (1998). "Theory of Constraints: A Review of the Philosophy and its Applications." *International Journal of Operations and Production Management*. 18 (4). 336–355. DOI:10.1108/01443579810199720.

Rahman, S. (2002). "The Theory of Constraints' Thinking Process Approach to Developing Strategies in Supply Chains." *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. 32 (10). 809–828. DOI:10.1108/09600030210455429

Rhee, S., Cho, N., e Bae, H. (2010). "Increasing the efficiency of business processes using a theory of constraints". *Information Systems Frontiers*. 443–455. DOI: 10.1007/s10796-008-9145-9

Romão, X., Delgado, R., e Costa, A. (2010). "An empirical power comparison of univariate goodness-of-fit tests for normality". *Journal of Statistical Computation and Simulation*, 80(5). 545–591. DOI: 10.1080/00949650902740824

Ronen, B e Starr M. (1990). "Synchronized Manufacturing as in OPT: from practice to theory". *Computers & Manufacturing*. 19. 585-600. DOI: 10.1016/0360-8352(90)90017-G.

Salah, S., Rahim, A., e Carretero, J. (2010). "The integration of Six Sigma and lean management". *International Journal of Lean Six Sigma*. 1(3). 249–274. DOI: 10.1108/20401461011075035.

Scheinkopf, L. (1999). "Thinking for a Change: Putting the TOC Thinking Processes to Use". *The St Lucie Press APICS Series on Constraints Management*. Boca Raton: CRC Press.

Scheinkopf, L. (2010). "Thinking Process including S&T trees". In *Theory of Constraints Handbook*, edited by J. F. Cox III, and J. G. Schleier. 729–786. New York: McGraw-Hill.

Schrageheim, E. (2016). "The benefits of the S&T tree – and some limitations". Disponível em: <https://elischrageheim.com/2016/01/23/the-benefits-of-the-st-tree-and-somelimitations/>

Schrageheim, E., e Ronen, B. (1990). "Drum-Buffer-Rope Shop Floor Control." *Production and Inventory Management* Washington, D.C. 31 (3). 18–2.

Schrageheim, E., e Dettmer, H. (2000). "Simplified Drum-Buffer-Rope A Whole System Approach to High Velocity Manufacturing". *Goal Systems International*. Disponível em: <https://www.goalsys.com/books/documents/S-DBRPaper.pdf>

Silva, L. (2015a). "Ensaio exploratório de um modelo TLS num Sistema Produtivo Lean : Caso Equipar". *Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial*. Disponível em: <https://run.unl.pt/handle/10362/16769>

Silva, L., Dias, R. e Tenra, A. (2019). "Application of a proposed tls model in a lean productive system". *Independent journal of management & production (ijm&p)*. DOI: 10.14807/ijmp.v10i1.830

Simatupang, T., Wright, A. e Sridharan, R. (2004). “Applying the Theory of Constraints to Supply Chain Collaboration.” *Supply Chain Management: An International Journal*. 9 (1). 57–70. DOI:10.1108/13598540410517584.

Simões, A. (2010). “Melhoria do tempo de troca numa linha de prensagem - Aplicação do método SMED”. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10362/6340>.

Simões, A., e Tenera, A. (2010). “Improving setup time in a Press Line – Application of the SMED methodology”. *IFAC Proceedings Volumes*. 43 (17). 297-302. DOI: 10.3182/20100908-3-PT-3007.00065.

Şimşit, Z., Günay, N., e Vayvay, Ö. (2014). “Theory of Constraints: A Literature Review”. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 150(231). 930–936. DOI: 10.1016/j.sbspro.2014.09.104.

Sturgeon, T, Memedovic, O., e Street, S. (2009). “Globalisation of the automotive industry : main features and trends”. *International Journal of Technological Learning Innovation and Development*. 2(1). 7–24. DOI:10.1504/IJTLID.2009.021954.

Suerken, K. (2010). “Theory of Constraints for Education.” In *Theory of Constraints Handbook*, edited by J. F. Cox III, and J. G. Schleier. 787–812. New York, NY: McGraw-Hill

Souza, F. (2005). “Do OPT à Teoria das Restrições: avanços e mitos”. *Produção*, 15(2), 184–197. DOI: 10.1590/S0103-65132005000200005

Spector, R. (2006). “How Constraints Management enhances Lean and Six Sigma”. *Supply Chain Management Review*. 42–47. ISSN: 1521-974.

Spencer, M., e Cox III, J. (1995). “Optimum production technology (OPT) and the theory of constraints (TOC): Analysis and genealogy”. *International Journal of Production Research*. 33(6). 1495–1504. DOI: 10.1080/00207549508930224

Sproull, B. (2009). “The ultimate improvement cycle: Maximizing profits through the integration of Lean, Six Sigma and the Theory of Constraints”. Ed.1. Boca Raton: CRC Press.

Srinivasan, M., Jones, D., e Miller, A. (2004). “Applying Theory of Constraints principles and Lean Thinking at the marine corps maintenance center”. *Defense Acquisition Review Journal*. 134–145. ISSN: 1553-6408.

Steyn, H. (2001). “An Investigation Into the Fundamentals of Critical Chain Project Scheduling.” *International Journal of Project Management*. 19 (6). 363–369. DOI: 10.1016/S0263-7863(00)00026-.

Taj, L. e Berro, S. (2006). “Application of constrained management and lean manufacturing in developing best practices for productivity improvement in an auto-assembly plant”. *International Journal of Productivity and Performance Management*. 55(3/4).332-345. DOI: 10.1108/17410400610653264.

Taylor III, L., Murphy, B. e Price, W. (2006). “Goldratt’s Thinking Process Applied to Employee Retention.” *Business Process Management Journal*. 12 (5). 646–670. DOI: 10.1108/14637150610691055.

Taylor III, L., e I. Poyner. (2008). “Goldratt’s Thinking Process Applied to the Problems Associated with Trained Employee Retention in a Highly Competitive Labor Market.” *Journal of European Industrial Training*. 32 (7). 594–608. DOI: 10.1108/03090590810899847.

Taylor III, L., e Sheffield, D. (2002). “Goldratt’s Thinking Process Applied to Medical Claims Processing.” *Hospital Topics*. 80 (4). 13–21. DOI: 10.1080/00185860209598005.

Tenera, A. (2006). “Contribuição para a melhoria da gestão da incerteza na duração dos projectos através da teoria das restrições”. Tese de Doutoramento, Universidade Nova de Lisboa - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa.

Umble, M., Umble e Murakami, S.. (2006). “Implementing Theory of constraints in a traditional Japanese Manufacturing Environment: The case of Hitachi tool engineering”. *International Journal of Production Research*. 1863-1880. DOI: 10.1080/00207540500381393.

Watson, K., Blackstone, J., e Gardiner, S.. (2007). “The evolution of a management philosophy: The theory of constraints”. *Journal of Operations Management*. 25(2). 387–402. DOI: 10.1016/J.JOM.2006.04.004

Watson, K., e Polito, T. (2003). “Comparison of DRP and TOC Financial Performance Within a MultiProduct, Multi-Echelon Physical Distribution Environment.” *International Journal of Production Research*. 41 (4). 741–765. DOI:10.1080/0020754031000065511

Wright, J. (2010). “TOC for Large-Scale Healthcare Systems”. In *Theory of Constraints Handbook*, edited by J. F. Cox III, and J. G. Schleier. 955–979. New York: McGraw-Hill

Wu, H., Chen, C., Tsai, C., e Yang, C. (2010). “Simulation and scheduling implementation study of TFT-LCD Cell plants using Drum-Buffer-Rope system”. *Expert Systems with Applications*. 37(12). 8127–8133. DOI: 10.1016/j.eswa.2010.05.075

Wu, H., e Yeh, M. (2006). “A DBR scheduling method for manufacturing environments with bottleneck re-entrant flows”. *International Journal of Production Research*. 44(5). 883–902. DOI: 10.1080/00207540500362187

Yap, B. e Sim, C. (2011). “Comparisons of various types of normality tests”. *Journal of Statistical Computation and Simulation*. 81(12). 2141–2155. DOI: 10.1080/00949655.2010.520163

Anexos A - Modelos em Estudo

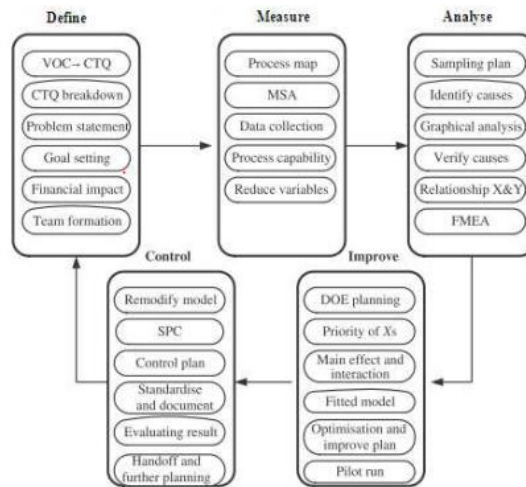


Figura A.1 - Modelo *Lean Six Sigma* Chen Liu (2009) [Fonte Pacheco (2012), p.116]



Figura A.2 - Ferramentas do modelo *Lean Six Sigma* Chen Liu (2009)

[Fonte: Pacheco (2012), p.118]

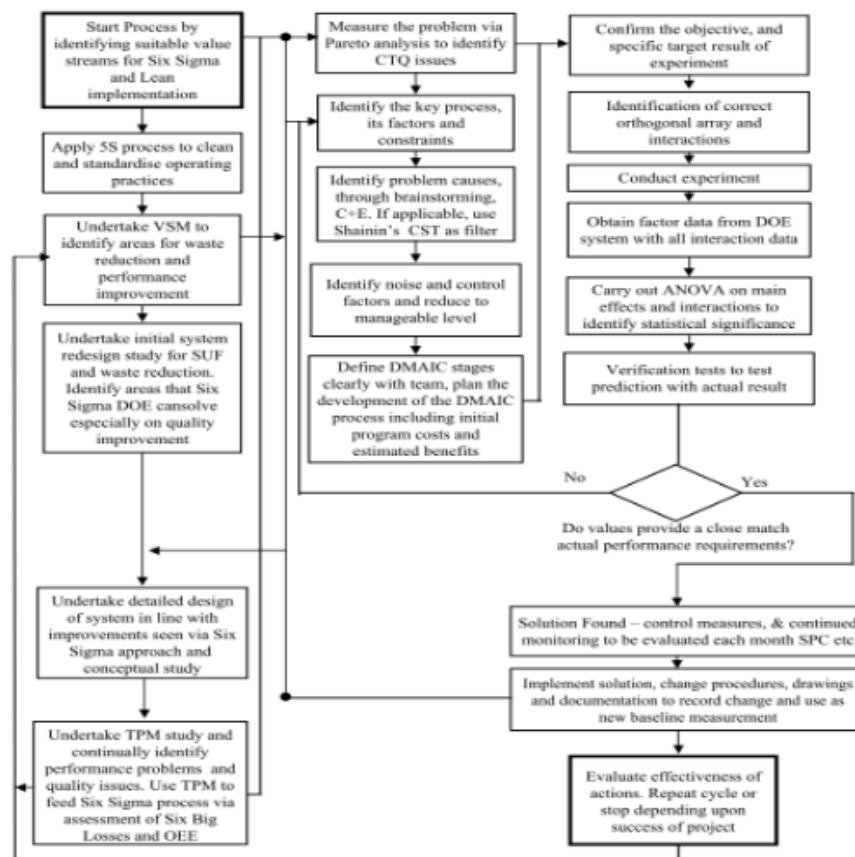


Figura A.3 - Modelo *Lean Six Sigma* Thomas et al (2009) [Fonte: Pacheco (2012), p.119]

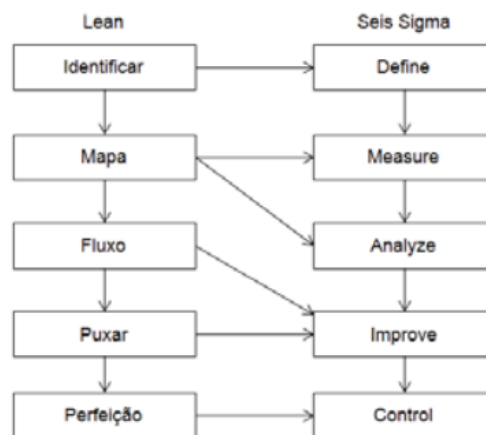


Figura A.4 - Modelo *Lean Six Sigma* Salah, Rahim e Carretero (2010)
[Fonte: Okimura (2013), p.67]

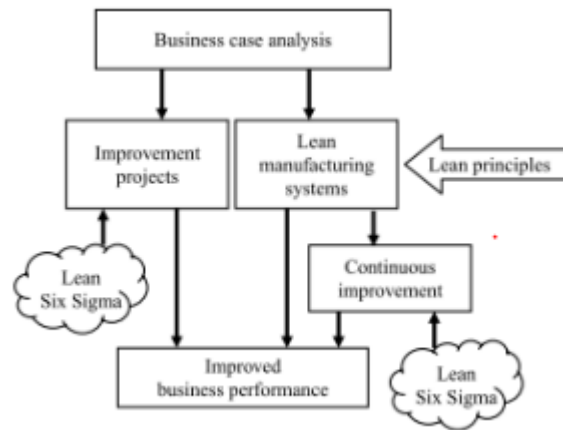


Figura A.5 - Modelo Lean Six Sigma Snee (2010) [Fonte: Pacheco (2012), p.113]

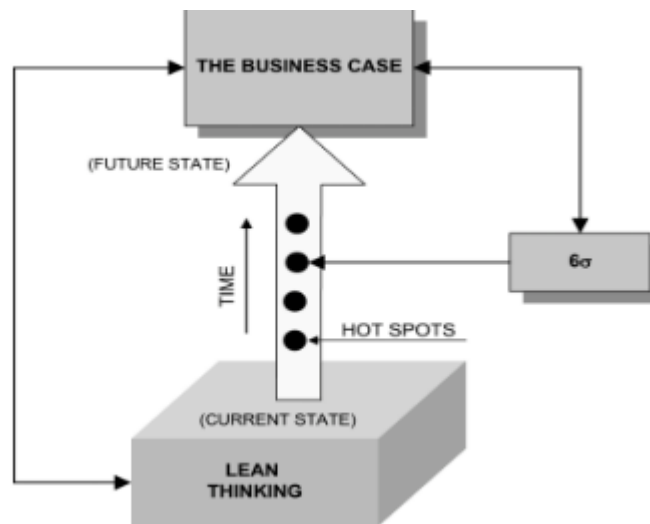
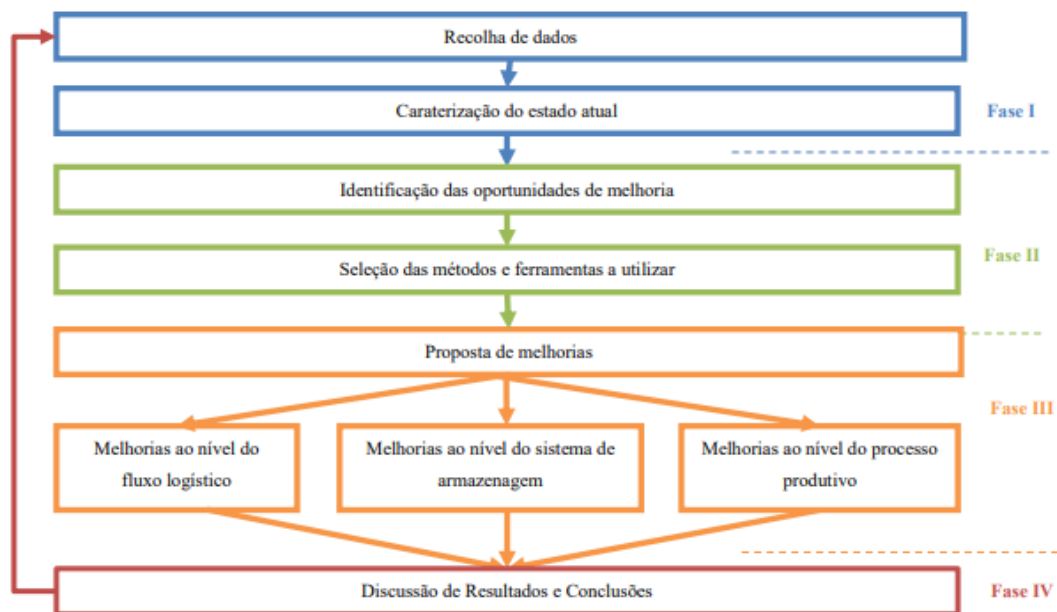


Figura A.6 - Modelo Lean Six Sigma Pepper e Spedding (2010) [Fonte: Pacheco (2012), p.112]



Fase	Objetivos
I – Diagnóstico do Sistema	<ul style="list-style-type: none"> - Caracterização do processo de produção; - Caracterização do fluxo logístico e do sistema de armazenagem; - Caracterização da configuração da instalação existente.
II – Análise dos dados, identificação das oportunidades de melhoria e seleção dos métodos e ferramentas para alcançar as melhorias	<ul style="list-style-type: none"> - Identificação dos processos críticos; - Identificação de oportunidades de melhoria (redução de desperdício, melhoria da <i>performance</i>); - Seleção das ferramentas e métodos a aplicar.
III – Proposta de melhorias para posterior implementação	<ul style="list-style-type: none"> - Aplicação das ferramentas selecionadas; - Propor medidas de melhoria.
IV – Implementação e verificação de resultados	<ul style="list-style-type: none"> - Implementação das medidas aceites pela organização; - Discussão dos resultados obtidos.

Fase	Input	Lean	Seis Sigma	Logística de produção	Output
I	Caraterização do estado atual do sistema a nível processo produtivo, fluxo logístico de produção e o sistema de armazenagem a ele associado, através da recolha de dados da produção e do fluxo de materiais.	VSM			OEE FTT Scrap Tamanho dos lotes de transporte Tempos de transporte entre processos e armazenagem
II	Análise dos dados obtidos na fase anterior	Eventos Kaizen			Identificação das oportunidades de melhoria
III Melhorias a nível do fluxo logístico	Configuração da instalação Método de transporte e acondicionamento utilizado			Systematic Layout Plannig Métodos de transporte	Novas configurações para a instalação Análise de novos métodos de transporte
III Melhorias a nível do sistema de armazenagem	Dados da produção e do número de movimentos de cada produto			Análise ABC Análise do tempo de recolha de um pedido Order picking	Classificação ABC dos produtos Configuração das localizações dos produtos na <i>rack</i> Sistema de <i>order picking</i>
III Melhorias a nível do processo produtivo	Nível de <i>scrap</i> no processo de produção Proporção de defeitos		DMAIC Diagrama de Pareto Estudos R&R ANOVA Cartas de controlo		Identificação do processo com maior percentagem de <i>scrap</i> . Redução da proporção de defeitos no processo selecionado.
IV	Dados do sistema produtivo e logístico após implementação das melhorias				Comparação de resultados entre o sistema produtivo e logístico inicial e o sistema após a

Figura A.7 - Modelo Lean Six Sigma Quintaneiro (2014), objetivos e ferramentas

[Fonte Quintaneiro (2014), p.33-35]

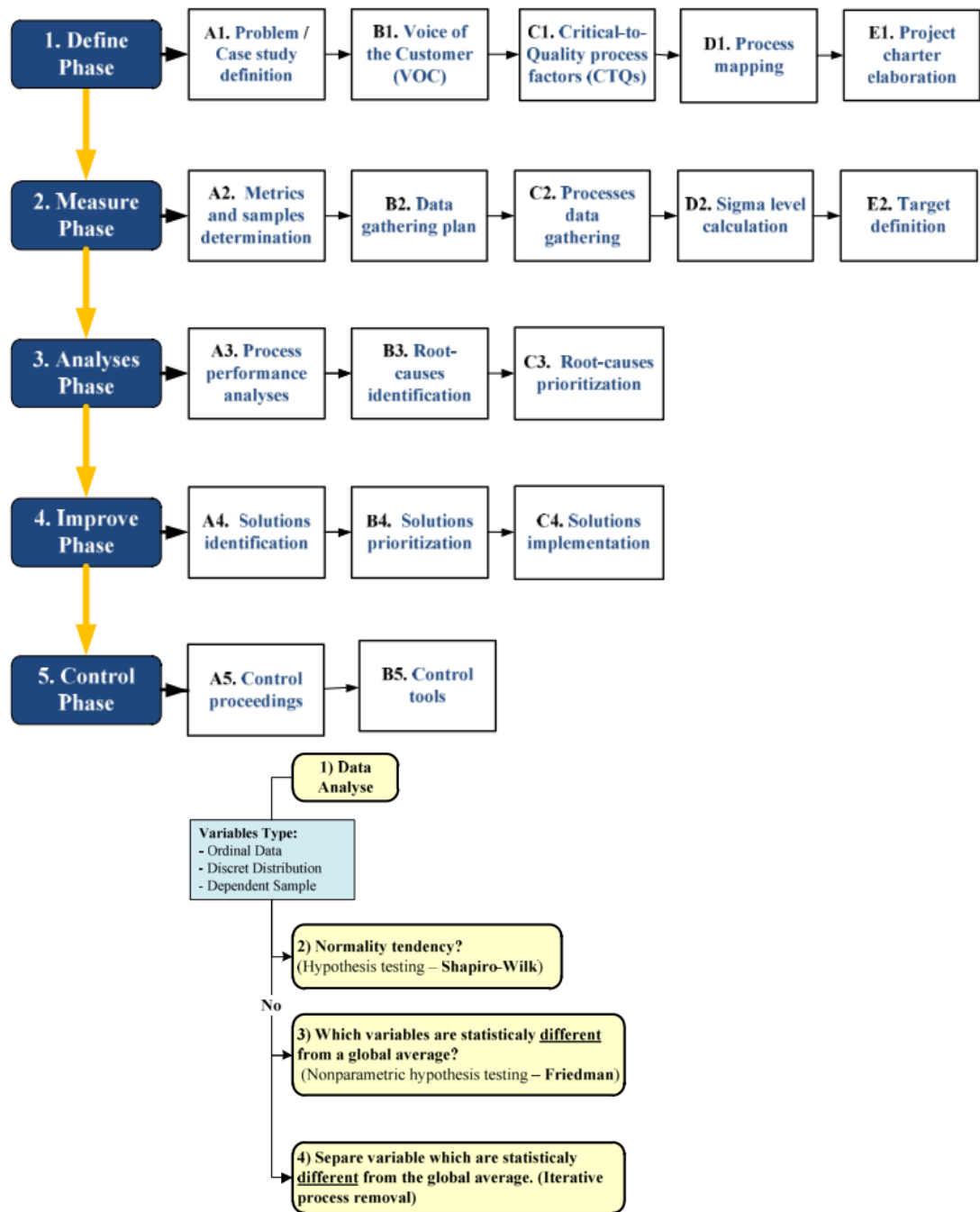


Figura A.8 - Modelo Lean Six Sigma [Fonte: Pinto e Tenera (2014), p.914]

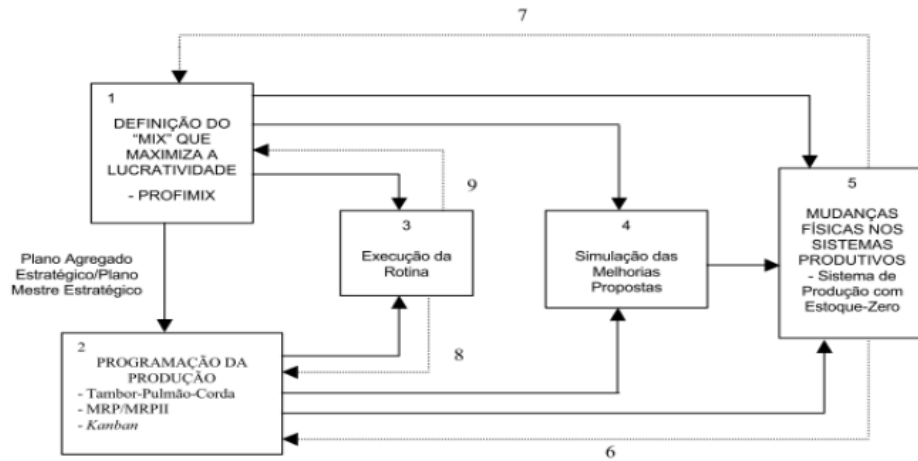


Figura A.9 - Modelo TOC Lean de Antunes (1998) [Fonte: Pacheco (2012), p.103]

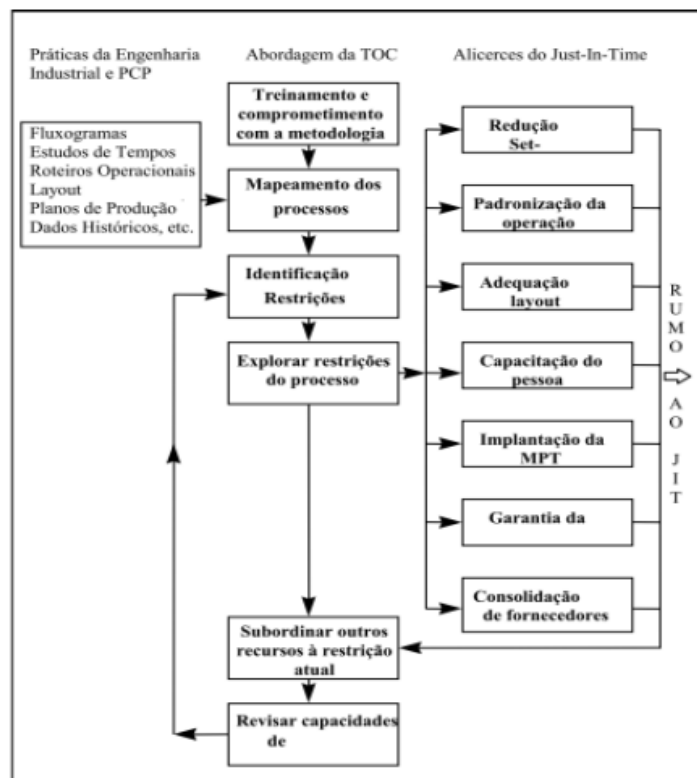


Figura A.10 - Modelo TOC Lean de Gusmão (1998) [Fonte: Pacheco (2012), p.104]

1. Identificar a restrição (TOC)	Identificar o fluxo de valor (<i>Lean</i>) Mapeamento de Processos (<i>Lean</i>) Análise da rotina (<i>Lean</i>) Determinação da capacidade (TOC) Leiaute celular (<i>Lean</i>) Trabalho padrão (<i>Lean</i>) Regras e responsabilidades (<i>Lean</i>)
2. Explorar a restrição do sistema (TOC)	<i>Kanban</i> (<i>Lean</i>) Dimensionamento dos lotes de transferência <i>One piece flow</i> (<i>Lean</i>) Dimensionamento dos lotes de processo (TOC) Planejamento para trás (TOC) <u>Foco no gargalo</u> (Troca rápida, <i>Poka-Yoke</i> , <i>Kaizen</i> , Intruções de trabalho)
3. Subordinar (TOC)	<i>Kanban</i> (<i>Lean</i>) Pulmão (TOC) Foco nos CCRs (<i>5S housekeeping</i> , Troca rápida, TPM, <i>Kaizen</i> , Treinamento sobre <i>Lean</i> e TOC)
4. Elevar a restrição (TOC)	
5. Voltar ao passo 1 (TOC)	

Figura A.11 - Modelo TOC Lean de Dettmer (2001) [Fonte: Pacheco (2012), p.105]



Figura A.12 - Modelo TOC e Lean de Araújo (2004) [Fonte: Mercado (2014), p.33]

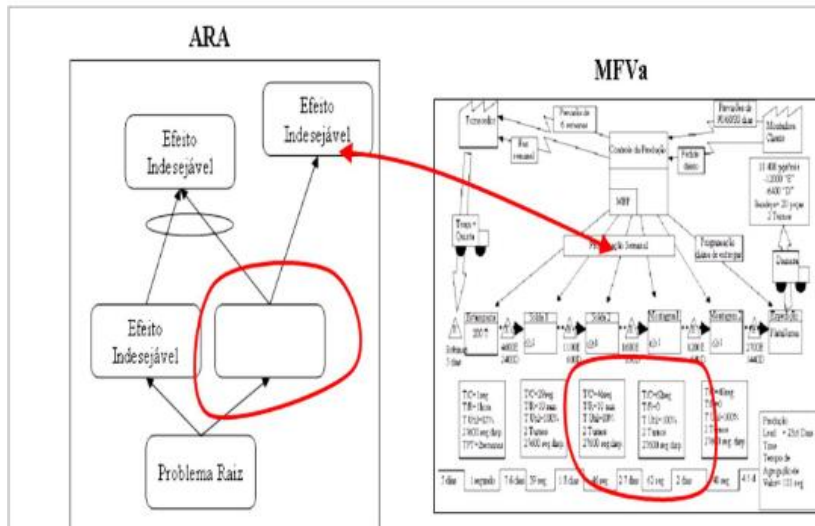


Figura A.13 - Relação das ferramentas TOC e Lean segundo Araújo (2004)
[Fonte: Mercado (2014), p.34]

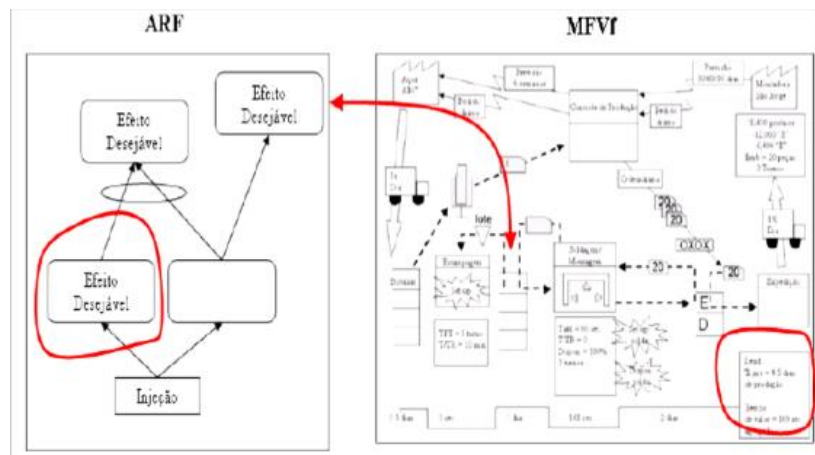


Figura A 14 - Relação das ferramentas TOC e Lean segundo Araújo (2004)
[Fonte: Mercado (2014), p.35] (continuação)

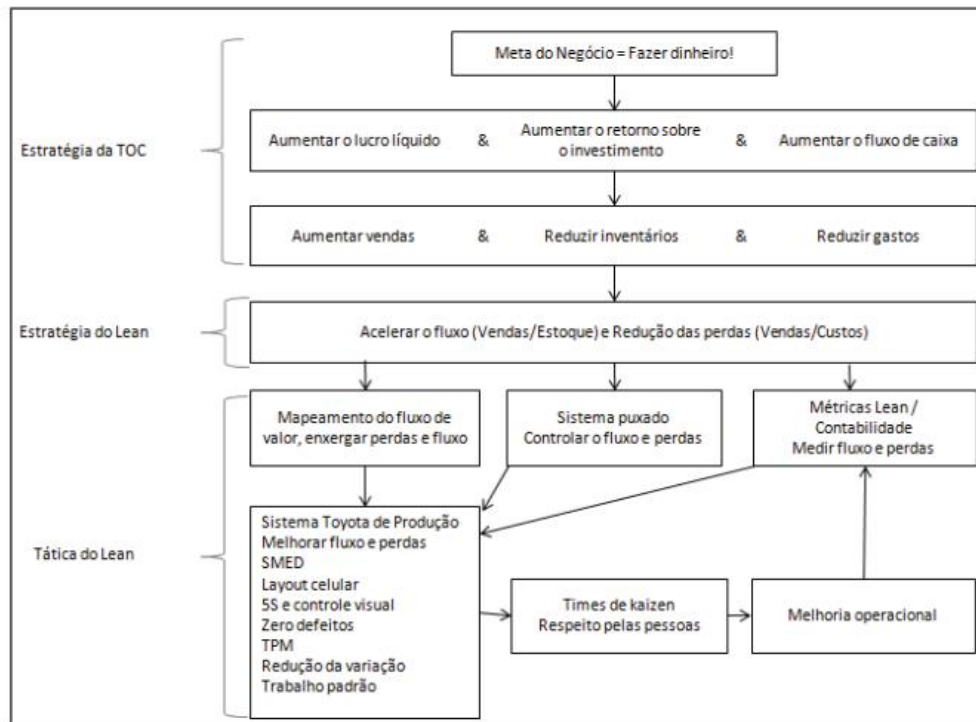


Figura A.15 - Modelo TOC e Lean de Guild (2012) [Adaptado Okimura (2013), p.55]

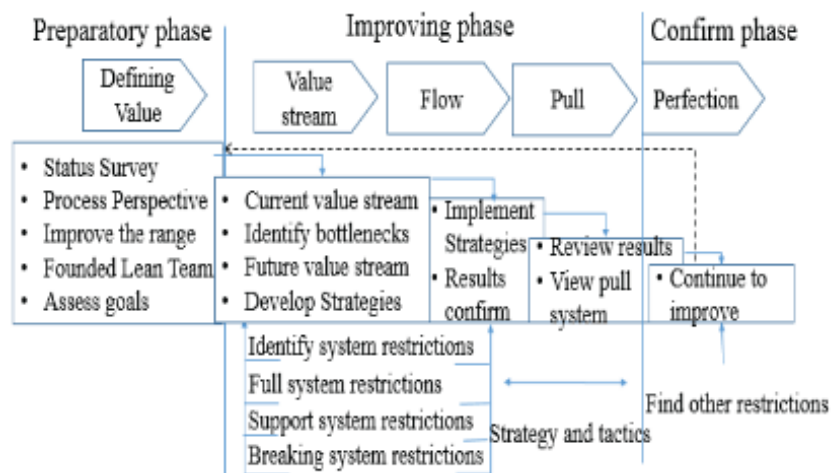


Figura A.16 - Modelo TOC e Lean de Chiou et al. (2014) [Fonte: Chiou et al (2014), p.17]

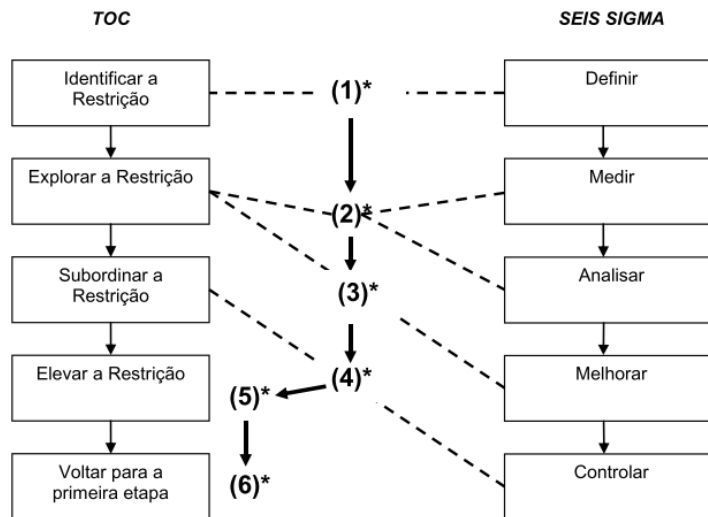


Figura A.17 - Modelo de integração TOC e Seis Sigma de Ehie e Sheu (2005)

[Adaptado de Mercado (2014), p.31]

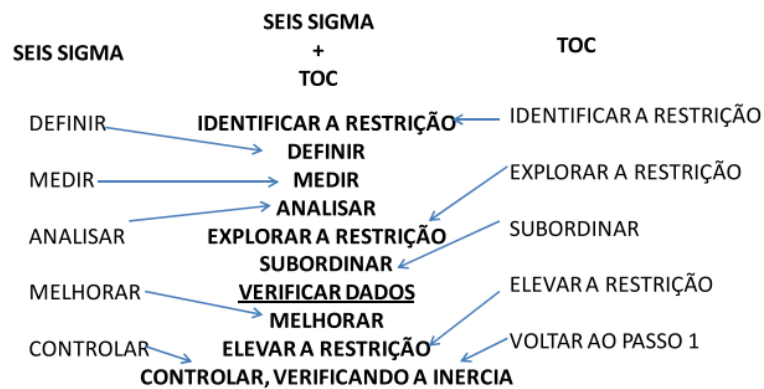


Figura A 18 - Modelo de integração TOC e Seis Sigma de Jin et Al (2009)

[Adaptado Pinto (2012), p.109]

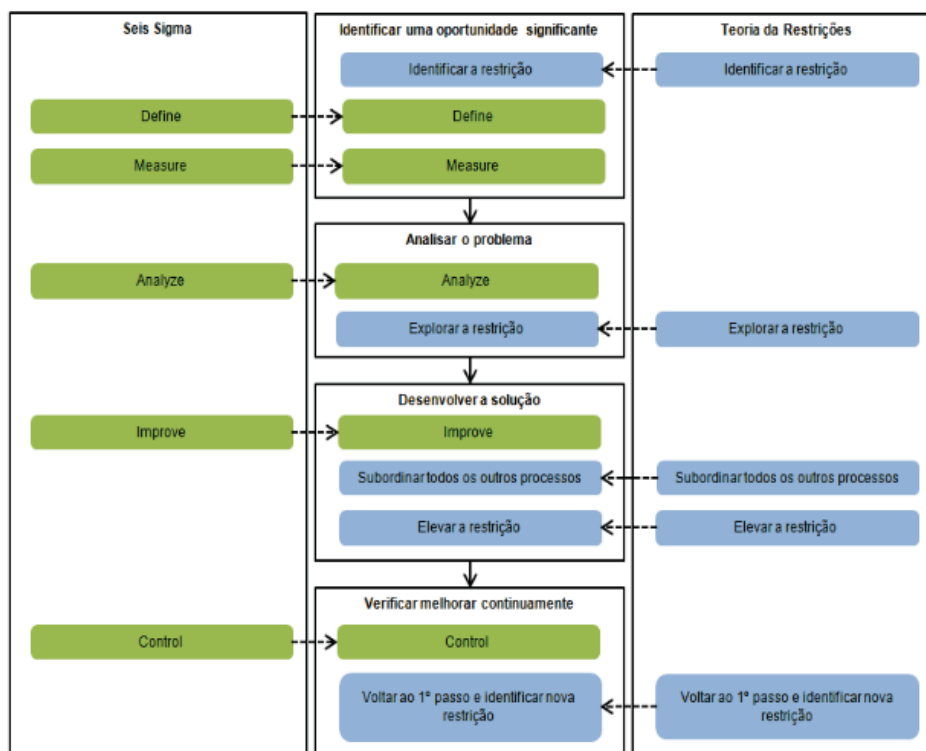


Figura A 19 - Modelo de integração TOC e Seis Sigma de Soni (2011)

[Adaptado de Okimura (2013), p. 62]

Tabela A 1 - Comparação entre metodologias [Adaptado de Pacheco (2014b), p.950-951]

Critério	Teoria das Restrições	Lean	Seis Sigma
Origem	Goldratt (1980's)	Toyota (Toyoda, Ohno e Shingo – 1950's)	Motorola e General Electrics (1980's)
Teoria	Gerir restrições e gerar ganho	Eliminação de perdas e aumento de lucro	Reduzir a variação
Estrutura de aplicação	1. Identificar a restrição 2. Explorar a restrição 3. Subordinar o processo 4. Elevar a restrição 5. Voltar ao passo 1	1. Especificar valor 2. Identificar o fluxo de valor 3. Fluxo 4. Puxar 5. Buscar a perfeição	1. Definir 2. Medir 3. Analisar 4. Melhorar 5. Controlar No problema
Foco	Na restrição	No fluxo	No problema
Meta	Incremento contínuo dos lucros	Maximizar a produtividade	Maximizar resultados do negócio
Objetivo estratégico	Sincronizar	Simplificar	Estabilizar

Tabela A.1 - Comparação entre metodologias
[Adaptado de Pacheco (2014b), p.950-951] (continuação)

Critério	Teoria das Restrições	Lean	Seis Sigma
Pressupostos	<ul style="list-style-type: none"> -Ênfase na velocidade e volume -Analisa sistemas existentes -Há interdependência entre os processos 	<ul style="list-style-type: none"> -A redução das perdas aumenta a performance do negócio -Diversas pequenas melhorias são melhores do que a análise global do sistema 	<ul style="list-style-type: none"> - Existe um problema - Ferramentas estatísticas são usadas - Melhoria na taxa de saída do sistema pela redução da variação nos processos
Efeito primário	Aumenta o ganho rapidamente	Redução do tempo de fluxo	Taxa de saída do processo uniforme
Efeito secundário	<ul style="list-style-type: none"> - Redução de inventários e perdas - Ganho é o medidor de performance do sistema -Melhoria de qualidade 	<ul style="list-style-type: none"> - Reduz a variabilidade - Gera saídas uniformes do processo - Redução de inventário. Novo sistema contábil - Fluxo é o medidor de performance dos gestores - Melhora a qualidade e a produtividade 	<ul style="list-style-type: none"> - Reduz as perdas. Gera ganho rapidamente - Reduz inventário - Variabilidade é o medidor de performance dos gestores - Melhora a qualidade - Cultura de mudança
Deficiências	Ignora partes da organização e da manufatura ao focar-se na restrição	<ul style="list-style-type: none"> - Não aplica ferramentas estatísticas ou sistemas de análises -Foco limitado em perdas 	<ul style="list-style-type: none"> - Não considera a interdependência dentro do sistema - Melhorias de processos feitas de forma independente - Cria elite de empregados
Facilidade de implementação	Maior dificuldade	Menor dificuldade	Dificuldade média
Nível de gestão da aplicação	Gestão de topo	Primeiro nível	Nível técnico e média gestão
Estrutura da implantação	Não faz referência	Não faz referência	<i>Belts e Champions</i>
Efeitos sobre a variabilidade	Absorve a variação	Reduz	Reduz

Tabela A.1 - Comparação entre metodologias
[Adaptado de Pacheco (2014b), p.950-951] (continuação)

Critério	Teoria das Restrições	Lean	Seis Sigma
Principais contribuições	Visão sistemática das restrições	<i>Pull, takt time, heijunka</i> , fluxo unitário de peças, mapeamento de fluxo de valor e respeito às pessoas	Estrutura organizacional com especialistas em melhorias, projetos orientados e quantificação das reduções de custos
Aspetos do processo	- Métrica específica de contabilidade -Foco sistemático na restrição	- Gestão do fluxo de trabalho pelo JIT -Otimização de processos	- Ferramentas estatísticas específicas - Terminologias específicas - Estrutura de especialistas específica
Tamanho dos lotes	Lotes maiores para a restrição e menores para não gargalos	Lotes pequenos em todo sistema	Não faz referência
Controlo da produção	A Corda do algoritmo DBR é usada para libertar o material	<i>Kanban</i> aciona a libertação da produção	Não faz referência
Planeamento da produção	Planeamento detalhado para a restrição e menos detalhado para não gargalos TPC	- Planeamento detalhado da montagem final - As demais operações são acionadas para atender a montagem através do <i>kanban</i>	Não faz referência
Distribuição do conhecimento	Conhecimento é centralizado e focado nas restrições	Conhecimento é compartilhado como redução de perdas e é de responsabilidade de todos	Conhecimento centralizado nos belts e a formação é altamente focada
Aspetos culturais dominantes	-Requer uma mudança na abordagem -Estende-se em todas as partes do negócio	-Cultura de mínimo desperdício -Ênfase na melhoria contínua	-Empoderamento dos funcionários -Altera a filosofia -Foco em clientes
Estilo de liderança	Líder de perfil direccionado	Líder de perfil facilitador	Líder de perfil direccionador
Necessidade de dados	Quantidade e acuracidade de dados é menos crítica em relação aos métodos tradicionais de produção	Quantidade e acuracidade de dados é parcialmente crítica em relação aos métodos tradicionais de produção	Exige elevadas quantidades e acuracidade de dados para a tomada de decisão

Tabela A.1 - Comparação entre metodologias
[Adaptado de Pacheco (2014b), p.950-951] (continuação)

Critério	Teoria das Restrições	Lean	Seis Sigma
Inventário	-Inventário é necessário para facilitar a produção, mas a meta é minimizar o inventário - <i>Buffers</i> são colocados à frente do gargalo e na intersecção entre caminhos de não gargalos e o caminho de um gargalo até suas ordens de produção	<i>Stock</i> zero é a meta e depende do número de <i>kanbans</i> no sistema	Não faz referência
Planeamento da capacidade	-Considera a capacidade finita -É planeada por simulação computacional	-Considera capacidade finita	Não faz referência
Tecnologia de informação	Recursos computacionais são necessários para a implantação	Baixa necessidade	Recursos computacionais usados principalmente para análises estatísticas
Requisitos de estabilidade	Indiferente, mas apresenta melhor desempenho em ambientes de média ou baixa estabilidade	Ambiente com alta estabilidade	Indiferente
Indicadores de desempenho	- Indicadores globais: lucro líquido (LL), retorno sobre o investimento (RSI), fluxo de caixa (FC); - Indicadores locais: ganho (G), inventário (I), despesas operacionais (DO)	-Custo-alvo -Custo- <i>Kaizen</i>	DPMO – Defeitos por Milhão de Oportunidade

Tabela A 2 - Forças, fraquezas e complementaridades das três metodologias

[Adaptado de Furtado (2017), p.13; Silva (2015), p.22; Okimura (2013), p.77]

	TOC	Lean	Seis Sigma
Forças	<p>1. Promove a simplificação de processos e administração de recursos através do foco na restrição para a gestão de um processo.</p> <p>2. Avalia todos os processos dentro de um contexto para garantir que os recursos não estão limitados à capacidade das não restrições.</p> <p>3. Distingue restrição política vs. Física</p> <p>4. Procura uma direção apropriada na melhoria dos indicadores (ganhos, níveis de stock e custos operacionais).</p>	<p>1. Proporciona uma estratégia apropriada para integrar melhorias utilizando mapas de fluxos de valor. O foco é sempre o de criar valor e reduzir desperdícios.</p> <p>2. Promove diretamente e defende avanços na inovação.</p> <p>3. Resposta rápida a oportunidades identificadas.</p> <p>4. Mudança de cultura e do trabalho local e resistência à mudança são suportadas pelo envolvimento direto da equipa em todos os níveis hierárquicos</p>	<p>1. O rigor e a disciplina são usados para resolver problemas complexos visto que não podem ser solucionados pela simples intuição ou tentativa e erro.</p> <p>2. A recolha de dados suporta os objetivos da empresa e garante apoio da gestão para obter recursos.</p> <p>3. O foco está na redução da variabilidade, reduzindo riscos e variações e melhorando a previsibilidade.</p>
Fraquezas	<p>1. Muito ênfase na exploração da restrição pode levar a aceitar ou tolerar perdas nos processos não restritivos.</p> <p>2. Se o processo subjacente é fundamentalmente inadequado, não importa o quão bem gerido, ele pode não alcançar as metas e objetivos.</p> <p>3. O processo de mudança da TOC é orientado tecnicamente e portanto não trata diretamente da necessidade de mudança.</p>	<p>1. Não avaliar razoavelmente as consequências pode promover riscos.</p> <p>2. Não identificar todos os benefícios dos negócios perante uma gestão tradicional.</p> <p>3. Tem limitações quando lida com problemas de interatividade complexa e recorrentes</p>	<p>1. Métodos estatísticos nem sempre são adequados para alguns sistemas – pode-se calcular o nível sigma mas não se pode ter a certeza de como estabelecer o nível sigma para as interações dos processos e falhas.</p> <p>2. Forte dependência de métodos estatísticos.</p> <p>3. O forte foco no processo estável pode conduzir a uma aversão ao risco, podendo penalizar novas abordagens inovadoras.</p>

Tabela A 2 - Forças, fraquezas e complementaridades das três metodologias

[Adaptado de Furtado (2017), p.13; Silva (2015), p.22; Okimura (2013), p.77] (continuação)

	TOC	<i>Lean</i>	<i>Seis Sigma</i>
Complementaridade	1. Força 1 do Lean e Força 2 do SS 2. Força 2 do Lean 3. Força 2 do Lean	1. Força 3 do SS 2. Força 2 do SS e Força 4 da TOC 3. Força 1 do SS e Força 3 da TOC	1. Força 1 do Lean e Força 2 da TOC 2. Força 2 e Força 3 do Lean 3. Força 2 do Lean

Anexos B – Processo em Estudo

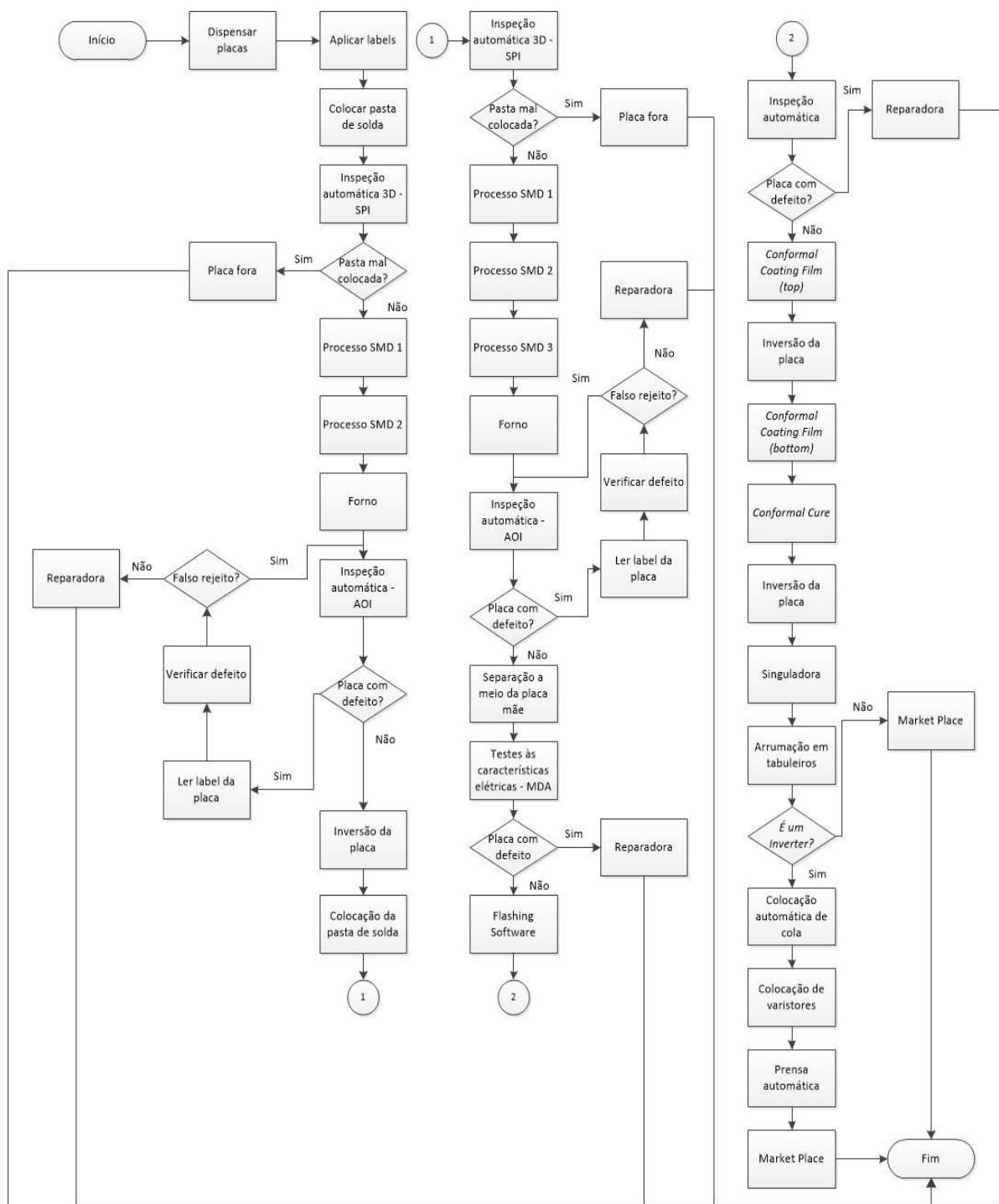


Figura B 1 - Diagrama de Processos da linha 2

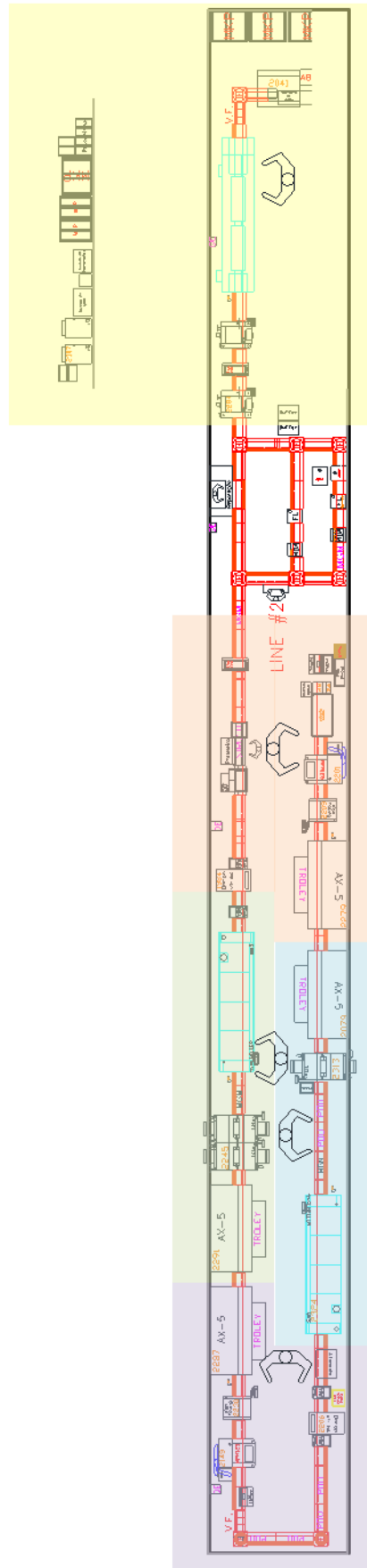


Figura B 2 - Planta da linha 2 com Operadores

Anexos C – Aplicação do Modelo

Tabela C 1 - Folha de cronometragem do produto 77C /78C/79C

[illegible]

Tabela C 2 - Folha de cronometragem do produto 87 A/ 2 A9

[illegible]

Tabela C 3 - Folha de cronometragem do produto 88 A/ 3 A9

[illegible]

Tabela C 4 - Folha de cronometragem do produto 89 A/ 4 A9

[illegible]

Tabela C 5 - Folha de cronometragem do produto 56 A/AJQ/AIE

[illegible]

Tabela C 6 - Folha de cronometragem do produto D38

Overall		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	T19	T20	T21	T22	T23	T24	T25	T26	T27	T28	T29	T30	T31	T32	T33	T34	T35	T36	T37	T38	T39	T40	T41	T42	T43	T44	T45	T46	T47	T48	T49	T50	T51	T52	T53	T54	T55	T56	T57	T58	T59	T60	T61	T62	T63	T64	T65	T66	T67	T68	T69	T70	T71	T72	T73	T74	T75	T76	T77	T78	T79	T80	T81	T82	T83	T84	T85	T86	T87	T88	T89	T90	T91	T92	T93	T94	T95	T96	T97	T98	T99	T100	T101	T102	T103	T104	T105	T106	T107	T108	T109	T110	T111	T112	T113	T114	T115	T116	T117	T118	T119	T120	T121	T122	T123	T124	T125	T126	T127	T128	T129	T130	T131	T132	T133	T134	T135	T136	T137	T138	T139	T140	T141	T142	T143	T144	T145	T146	T147	T148	T149	T150	T151	T152	T153	T154	T155	T156	T157	T158	T159	T160	T161	T162	T163	T164	T165	T166	T167	T168	T169	T170	T171	T172	T173	T174	T175	T176	T177	T178	T179	T180	T181	T182	T183	T184	T185	T186	T187	T188	T189	T190	T191	T192	T193	T194	T195	T196	T197	T198	T199	T200	T201	T202	T203	T204	T205	T206	T207	T208	T209	T210	T211	T212	T213	T214	T215	T216	T217	T218	T219	T220	T221	T222	T223	T224	T225	T226	T227	T228	T229	T230	T231	T232	T233	T234	T235	T236	T237	T238	T239	T240	T241	T242	T243	T244	T245	T246	T247	T248	T249	T250	T251	T252	T253	T254	T255	T256	T257	T258	T259	T260	T261	T262	T263	T264	T265	T266	T267	T268	T269	T270	T271	T272	T273	T274	T275	T276	T277	T278	T279	T280	T281	T282	T283	T284	T285	T286	T287	T288	T289	T290	T291	T292	T293	T294	T295	T296	T297	T298	T299	T300	T301	T302	T303	T304	T305	T306	T307	T308	T309	T310	T311	T312	T313	T314	T315	T316	T317	T318	T319	T320	T321	T322	T323	T324	T325	T326	T327	T328	T329	T330	T331	T332	T333	T334	T335	T336	T337	T338	T339	T340	T341	T342	T343	T344	T345	T346	T347	T348	T349	T350	T351	T352	T353	T354	T355	T356	T357	T358	T359	T360	T361	T362	T363	T364	T365	T366	T367	T368	T369	T370	T371	T372	T373	T374	T375	T376	T377	T378	T379	T380	T381	T382	T383	T384	T385	T386	T387	T388	T389	T390	T391	T392	T393	T394	T395	T396	T397	T398	T399	T400	T401	T402	T403	T404	T405	T406	T407	T408	T409	T410	T411	T412	T413	T414	T415	T416	T417	T418	T419	T420	T421	T422	T423	T424	T425	T426	T427	T428	T429	T430	T431	T432	T433	T434	T435	T436	T437	T438	T439	T440	T441	T442	T443	T444	T445	T446	T447	T448	T449	T450	T451	T452	T453	T454	T455	T456	T457	T458	T459	T460	T461	T462	T463	T464	T465	T466	T467	T468	T469	T470	T471	T472	T473	T474	T475	T476	T477	T478	T479	T480	T481	T482	T483	T484	T485	T486	T487	T488	T489	T490	T491	T492	T493	T494	T495	T496	T497	T498	T499	T500	T501	T502	T503	T504	T505	T506	T507	T508	T509	T510	T511	T512	T513	T514	T515	T516	T517	T518	T519	T520	T521	T522	T523	T524	T525	T526	T527	T528	T529	T530	T531	T532	T533	T534	T535	T536	T537	T538	T539	T540	T541	T542	T543	T544	T545	T546	T547	T548	T549	T550	T551	T552	T553	T554	T555	T556	T557	T558	T559	T560	T561	T562	T563	T564	T565	T566	T567	T568	T569	T570	T571	T572	T573	T574	T575	T576	T577	T578	T579	T580	T581	T582	T583	T584	T585	T586	T587	T588	T589	T590	T591	T592	T593	T594	T595	T596	T597	T598	T599	T600	T601	T602	T603	T604	T605	T606	T607	T608	T609	T610	T611	T612	T613	T614	T615	T616	T617	T618	T619	T620	T621	T622	T623	T624	T625	T626	T627	T628	T629	T630	T631	T632	T633	T634	T635	T636	T637	T638	T639	T640	T641	T642	T643	T644	T645	T646	T647	T648	T649	T650	T651	T652	T653	T654	T655	T656	T657	T658	T659	T660	T661	T662	T663	T664	T665	T666	T667	T668	T669	T670	T671	T672	T673	T674	T675	T676	T677	T678	T679	T680	T681	T682	T683	T684	T685	T686	T687	T688	T689	T690	T691	T692	T693	T694	T695	T696	T697	T698	T699	T700	T701	T702	T703	T704	T705	T706	T707	T708	T709	T710	T711	T712	T713	T714	T715	T716	T717	T718	T719	T720	T721	T722	T723	T724	T725	T726	T727	T728	T729	T730	T731	T732	T733	T734	T735	T736	T737	T738	T739	T740	T741	T742	T743	T744	T745	T746	T747	T748	T749	T750	T751	T752	T753	T754	T755	T756	T757	T758	T759	T760	T761	T762	T763	T764	T765	T766	T767	T768	T769	T770	T771	T772	T773	T774	T775	T776	T777	T778	T779	T780	T781	T782	T783	T784	T785	T786	T787	T788	T789	T790	T791	T792	T793	T794	T795	T796	T797	T798	T799	T800	T801	T802	T803	T804	T805	T806	T807	T808	T809	T810	T811	T812	T813	T814	T815	T816	T817	T818	T819	T820	T821	T822	T823	T824	T825	T826	T827	T828	T829	T830	T831	T832	T833	T834	T835	T836	T837	T838	T839	T840	T841	T842	T843	T844	T845	T846	T847	T848	T849	T850	T851	T852	T853	T854	T855	T856	T857	T858	T859	T860	T861	T862	T863	T864	T865	T866	T867	T868	T869	T870	T871	T872	T873	T874	T875	T876	T877	T878	T879	T880	T881	T882	T883	T884	T885	T886	T887	T888	T889	T890	T891	T892	T893	T894	T895	T896	T897	T898	T899	T900	T901	T902	T903	T904	T905	T906	T907	T908	T909	T910	T911	T912	T913	T914	T915	T916	T917	T918	T919	T920	T921	T922	T923	T924	T925	T926	T927	T928	T929	T930	T931	T932	T933	T934	T935	T936	T937	T938	T939	T940	T941	T942	T943	T944	T945	T946	T947	T948	T949	T950	T951	T952	T953	T954	T955	T956	T957	T958	T959	T960	T961	T962	T963	T964	T965	T966	T967	T968	T969	T970	T971	T972	T973	T974	T975	T976	T977	T978	T979	T980	T981	T982	T983	T984	T985	T986	T987	T988	T989	T990	T991	T992	T993	T994	T995	T996	T997	T998	T999	T1000	T1001	T1002	T1003	T1004	T1005	T1006	T1007	T1008	T1009	T1010	T1011	T1012	T1013	T1014	T1015	T1016	T1017	T1018	T1019	T1020	T1021	T1022	T1023	T1024	T1025	T1026	T1027	T1028	T1029	T1030	T1031	T1032	T1033	T1034	T1035	T1036	T1037	T1038	T1039	T1040	T1041	T1042	T1043	T1044	T1045	T1046	T1047	T1048	T1049	T1050	T1051	T1052	T1053	T1054	T1055	T1056	T1057	T1058	T1059	T1060	T1061	T1062	T1063	T1064	T1065	T1066	T1067	T1068	T1069	T1070	T1071	T1072	T1073	T1074	T1075	T1076	T1077	T1078	T1079	T1080	T1081	T1082	T1083	T1084	T1085	T1086	T1087	T1088	T1089	T1090	T1091	T1092	T1093	T1094	T1095	T1096	T1097	T1098	T1099	T1100	T1101	T1102	T1103	T1104	T1105	T1106	T1107	T1108	T1109	T1110	T1111	T1112	T1113	T1114	T1115	T1116	T1117	T1118	T1119	T1120	T1121	T1122	T1123	T1124	T1125	T1126	T1127	T1128	T1129	T1130	T1131	T1132	T1133	T1134	T1135	T1136	T1137	T1138	T1139	T1140	T1141	T1142	T1143	T1144	T1145	T1146	T1147	T1148	T1149	T1150	T1151	T1152	T1153	T1154	T1155	T1156	T1157	T1158	T1159	T1160	T1161	T1162	T1163	T1164	T1165	T1166	T1167	T1168	T1169	T1170	T1171	T1172	T1173	T1174	T1175	T1176	T1177	T1178	T1179	T1180	T1181	T1182	T1183	T1184	T1185	T1186	T1187	T1188	T1189	T1190	T1191	T1192	T1193	T1194	T1195	T1196	T1197	T1198	T1199	T1200	T1201	T1202	T1203	T1204	T1205	T1206	T1207	T1208	T1209	T1210	T1211	T1212	T1213	T1214	T1215	T1216	T1217	T1218	T1219	T1220	T1221	T1222	T1223	T1224	T1225	T1226	T1227	T1228	T1229	T1230	T1231	T1232	T1233	T1234	T1235	T1236	T1237	T1238	T1239	T1240	T1241	T1242	T1243	T1244	T1245	T1246	T1247	T1248	T1249	T1250	T1251	T1252	T1253	T1254	T1255	T1256	T1257	T1258	T1259	T1260	T1261	T1262	T1263	T1264	T1265	T1266	T1267	T1268	T1269	T1270	T1271	T1272	T1273	T1274	T1275	T1276	T1277	T1278	T1279	T1280	T1281	T1282	T1283	T1284	T1285	T1286	T1287	T1288	T1289	T1290	T1291	T1292	T1293	T1294	T1295	T1296	T1297	T1298	T1299	T1300	T1301	T1302	T1303	T1304	T1305	T1306	T1307	T1308	T1309	T1310	T1311	T1312	T1313	T1314	T1315	T1316	T1317	T1318	T1319	T1320	T1321	T1322	T1323	T1324	T1325	T1326	T1327	T1328	T1329	T1330	T1331	T1332	T1333	T1334	T1335	T1336	T1337	T1338	T1339	T1340	T1341	T1342	T1343	T1344	T1345	T1346	T1347	T1348	T1349	T1350	T1351	T1352	T1353	T1354	T1355	T1356	T1357	T1358	T1359	T1360	T1361	T1362	T1363	T1364	T1365	T1366	T1367	T1368	T1369	T1370	T1371	T1372	T1373	T1374	T1375	T1376	T1377	T1378	T1379	T1380	T1381	T1382	T1383	T1384	T1385	T1386	T1387	T1388	T1389	T1390	T1391	T1392	T1393	T1394	T1395	T1396	T1397	T1398	T1399	T1400	T1401	T1402	T1403	T1404	T1405	T1406	T1407	T1408	T1409	T1410	T1411	T1412	T1413	T1414	T1415	T1416	T1417	T1418	T1419	T1420	T1421	T1422	T1423	T1424	T1425	T1426	T1427	T1428	T1429	T1430	T1431	T1432	T1433	T1434	T1435	T1436	T1437	T1438	T1439	T1440	T1441	T1442	T1443	T1444	T1445	T1446	T1447	T1448	T1449	T1450	T1451	T1452	T1453	T1454	T1455	T1456	T1457	T1458	T1459	T1460	T1461	T1462	T1463	T1464	T1465	T1466	T1467	T1468	T1469	T1470	T1471	T1472	T1473	T1474	T1475	T1476	T1477	T1478	T1479	T1480	T1481	T1482	T1483	T1484	T1485	T1486	T1487	T1488	T1489	T1490	T1491	T1492	T1493	T1494	T1495	T1496	T1497	T149
---------	--	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------

Tabela C 7 - Folha de cronometragem do produto AJR (antes da alteração no *conveyor*)

[illegible]

Tabela C 8 - Folha de cronometragem do produto AJR (após a alteração no *conveyor*)

[illegible]

Tabela C 10 - Folha de cronometragem do produto AJP/AJS

Operação	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	T19	T20	T21	T22	T23	T24	T25	T26	T27	T28	T29	T30	T31	T32	T33	T34	T35	T36	T37	T38	T39	T40	Média	Desvio Padrão	Z(99%)	Erro	Tamanho da amostra																				
Colocação labels	21,3	21,44	20,89	21	21,23	21,41	21,21	21,18	21,32	21,35	20,94	20,98	21,19	21,29	21,32	21,25	21,22	21,21	21,19	21,29	21,32	21,46	21,01	21,28	21,46	21,27	21,19	21,19	21,33	21,99															21,26	0,20	2,58	0,01	5,98	6,00															
Screen Printer - MPM	23,86	24,25	23,29	23,58	22,95	22,49	22,51	22,34	22,24	22,32	22,27	22,42	22,17	22,15	22,19	22,33	22,46	22,25	22,11	22,37	22,44	22,28	22,69	22,65	22,54	22,19	22,49	24,03	23,22	22,28	22,38	22,41	22,66	22,25	22,15	22,95	22,44	22,28	22,15									22,59	0,54	2,58	0,01	38,05	39,00												
SPI	17,3	18,05	17,39	17,63	17,45	17,33	17,35	17,37	17,24	17,93	17,69	17,53	17,31	17,44	17,57	17,62	17,45	17,23	18,01	17,59	17,33	17,36	17,39	17,22	17,77	17,51	17,29	17,45	17,55	17,5																	17,50	0,22	2,58	0,01	10,46	11,00													
SMD Placement - AX5	30,01	30,37	30,01	29,98	30,83	29,98	30,61	30,25	29,9	29,73	30,95	29,56	30,31	30,03	30,65	31,15	29,39	29,69	29,91	29,85	30,34	30	29,89	30,88	29,97	29,96	29,15	29,84	29,77	30,18																	30,10	0,46	2,58	0,01	15,68	16,00													
SMD Placement - AX5	21,68	21,42	20,95	20,69	20,99	20,98	20,92	20,84	20,98	21,25	20,95	21,89	20,93	19,99	22,59	21,44	20,88	20,92	20,96	20,99	21,01	20,94	20,88	20,94	20,91	21,11	21,15	20,88	20,85	21,3																		21,07	0,43	2,58	0,01	28,04	29,00												
SMD Placement - illex	25,52	25,39	24,07	24,33	26,14	25,54	25,25	25,77	24,65	25	24,51	25,87	25,25	25,35	25,52	25,93	24,44	25,23	25,11	24,88	24,84	25,31	25,51	25,15	25,7	24,66	24,68	24,73	24,86	25,28																			25,15	0,51	2,58	0,01	26,97	27,00											
Reflow Oven	25,96	24,45	26,46	25,47	24,23	24,86	24,99	25,29	25,4	24,56	25,19	25,57	25,77	25,9	26,19	25,77	26,15	25,88	24,55	26,19	25,48	24,98	24,79	25,33	25,74	26,19	26,16	26,11	24,79	25,21	25,11	26,31	26,19	25,11	25,89	26,1	26,08	25,18													25,52	0,60	2,58	0,01	37,02	38,00									
AOI	27,2	27,52	26,99	27,2	27,29	27,06	27,14	26,89	27,87	27,05	28,15	27,32	27,72	27,69	27,15	27,28	26,86	26,88	26,92	27,15	27,22	26,88	26,89	26,89	27,19	27,08	27,15	27,94	27,31	27,33																					27,24	0,34	2,58	0,01	10,27	11,00									
Screen Printer - MPM	29,06	28,37	29,11	28,34	28,61	28,66	29,19	28,8	29,44	29,35	29,41	29,39	29,99	29,68	29,15	28,98	28,76	29,16	29,22	29,25	29,64	28,69	28,71	29,19	29,31	29,08	28,59	29,19	28,77	28,79																						29,06	0,39	2,58	0,01	11,96	12,00								
SPI	16,14	15,69	15,52	15,9	15,81	15,9	15,28	15,23	15,53	15,68	15,25	15,32	15,44	15,84	16,15	16,11	16,08	15,69	15,84	15,88	16,12	15,28	15,55	15,67	15,21	15,31	15,53	15,84	16,23	16,11																						15,69	0,33	2,58	0,01	28,77	29,00								
SMD Placement AX	21,25	21,35	21,73	22,12	22,63	22,81	23,17	22,77	22,38	22,21	21,87	22,19	22,15	22,28	21,66	22,35	22,15	22,18	22,12	21,88	22,08	22,25	22,32	22,66	21,97	22,08	22,15	22,19	22,23																									22,18	0,40	2,58	0,01	21,45	22,00						
SMD Placement AX	22,26	22,47	21,05	22,6	22,59	22,62	21,71	22,46	21,69	21,94	22,15	22,28	22,35	22,64	22,19	22,49	21,03	22,69	22,77	22,59	21,89	22,51	22,49	22,66	22,73	22,81	21,96	22,15	22,25	21,77																									22,26	0,46	2,58	0,01	28,72	29,00					
SMD Placement - illex (2 EQUIP)	17,39	17,29	17,19	17,2	18	17,46	17,89	17,25	17,38	17,44	17,51	17,47	17,29	17,34	17,41	17,22	17,17	17,21	18,15	17,44	17,89	17,92	17,74	17,59	17,88	18,21	18,11	18,04	17,77	17,94																									17,59	0,33	2,58	0,01	23,85	24,00					
Reflow Oven	21,88	23,81	24,05	22,15	23,57	23,61	23,23	22,55	23,25	23,39	23,83	23,21	23,29	23,31	23,77	24,01	24,03	22,19	23,45	23,57	23,61	23,66	23,23	23,29	23,33	23,66	23,59	23,84	24,01	22,52	23,31	23,29	23,55	23,88	23,89	23,94	24,11	23,15	22,69															23,38	0,56	2,58	0,01	38,56	39,00						
HELLER	31,04	31,93	31,07	30,63	31,31	31,19	30,95	30,65	30,8	31,27	31,22	30,94	30,81	31,31	31,28	31,44	31,12	31,09	30,95	30,98	31,09	31,12	31,15	31,22	30,81	30,77	31,29	31,26	31,43	31,19																									31,11	0,27	2,58	0,01	4,86	5,00					
MDA	32,36	32,17	32,22	32,31	31,99	32,28	32,25	31,98	32,18	32,11	31,99	31,97	31,88	32,19	32,11	32,19	32,17	32,15	31,95	31,87	31,94	32,01	32,28	32,19	32,13	31,58	32,1	31,84	31,79	32,28																									32,08	0,18	2,58	0,01	2,07	3,00					
Finish	42,68	42,71	42,75	42,41	42,49	42,93	42,42	42,38	42,19	42,85	42,74	43,49	42,88	42,77	43,49	42,88	43,11	42,94	43,19	43,16	42,66	42,19	42,44	42,66	42,19	42,44	43,39																														42,84	0,27	2,58	0,01	4,89	5,00			
Conformal Top	31,4	32,07	32,05	32,05	32,06	31,69	31,87	31,99	32,22	32,15	32,18	31,69	31,77	31,94	31,99	31,98	32,19	31,44	32,09	32,06	31,77	31,72	31,89	31,94	32,15	32,23	32,19	32,26	32,23	31,94																									31,98	0,23	2,58	0,01	3,45	4,00					
Conformal Bottom	38,58	38,39	38,47	38,49	38,21	38,49	38,41	38,33	38,55	38,49	38,69	38,59	38,38	38,33	38,46	38,22	38,34	38,32	38,34	38,59	38,56	38,94	38,22	38,29	38,77	38,29	38,53	38,66	38,69	38,29	38,51																											38,47	0,17	2,58	0,01	1,36	2,00		
Conformal Oven	38,34	38,87	38,19	38,37	38,42	38,21	37,63	38,53	38,38	38,88	38,81	38,75	38,76	38,94	38,22	38,27	38,42	38,22	38,44	38,39	38,35	38,89	38,21	38,38	38,49	38,23	37,69	38,49	38,44	38,89																														38,44	0,23	2,58	0,01	4,65	5,00
ROBOT	21,3	21,15	21,27	20,95	21,32	21,19	20,93	20,94	20,91	20,88	21,12	21,15	21,33	21,19	21,28	20,99	20,97	21,38	21,49	21,44	21,45	21,51	21,44	21,47	20,96	20,94	20,88	21,33	21,19																														21,19	0,21	2,58	0,01	6,58	7,00	

Tabela C 11 - Folha de cronometragem do produto QTG

[illegible]

Tabela C 12 - Folha de cronometragem do processo de *Changeover*

[illegible]

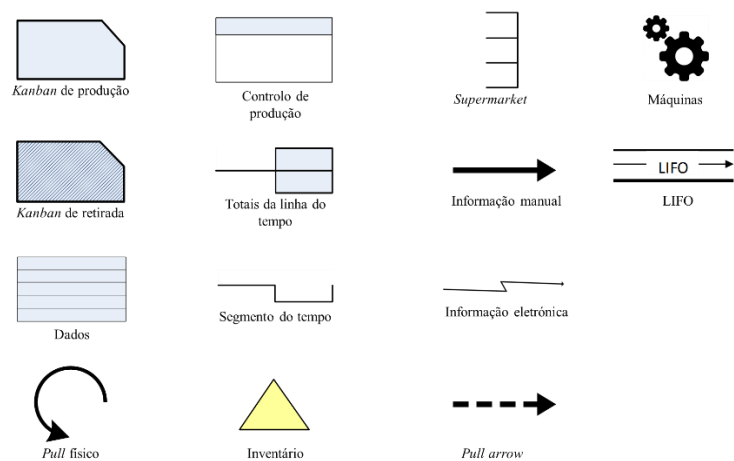


Figura C 1 - Nomenclatura utilizada para o VSM

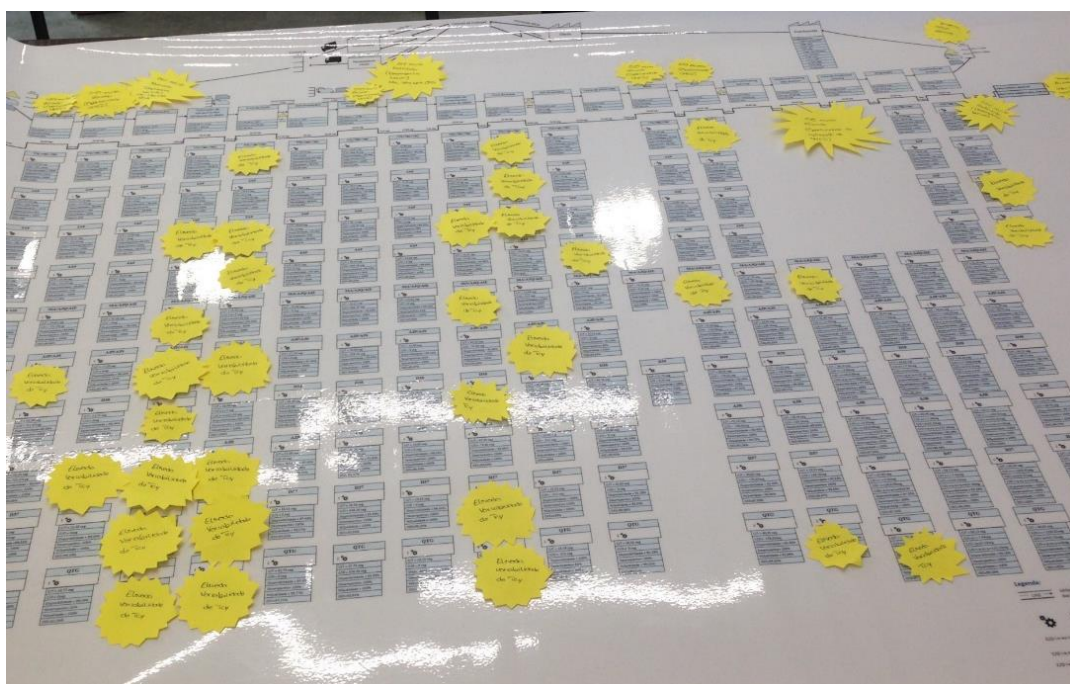


Figura C 2 – Value Stream Mapping Current state (análise inicial)

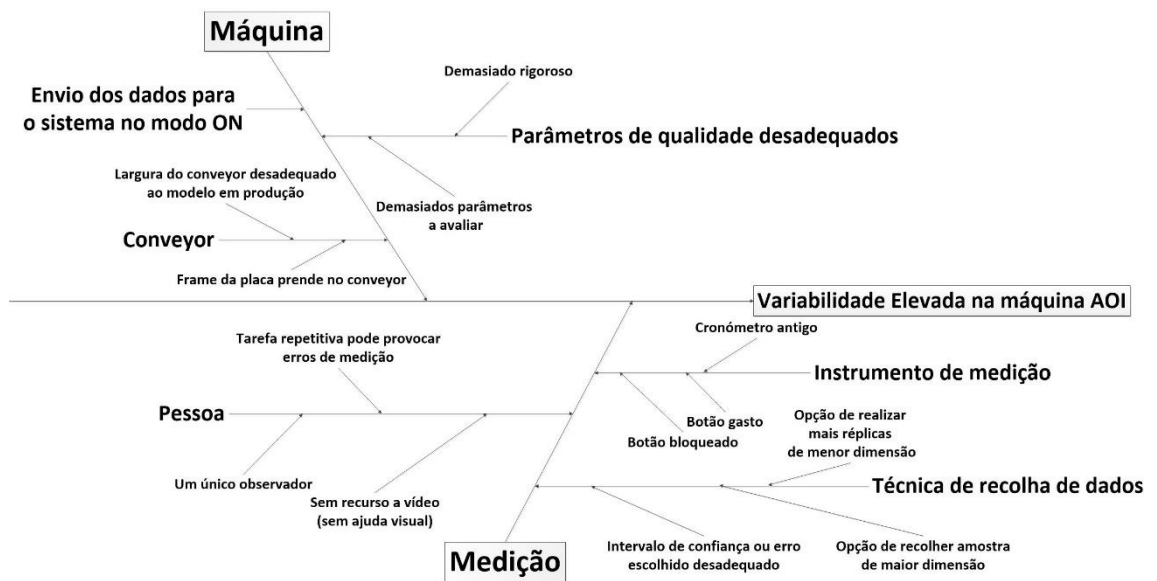


Figura C 3 - *Ishikawa* relativo à variabilidade do tempo de ciclo da máquina AOI



Figura C 4 - *Ishikawa* relativo à variabilidade no tempo de ciclo da máquina responsável pela colocação de cola nos *inverters*

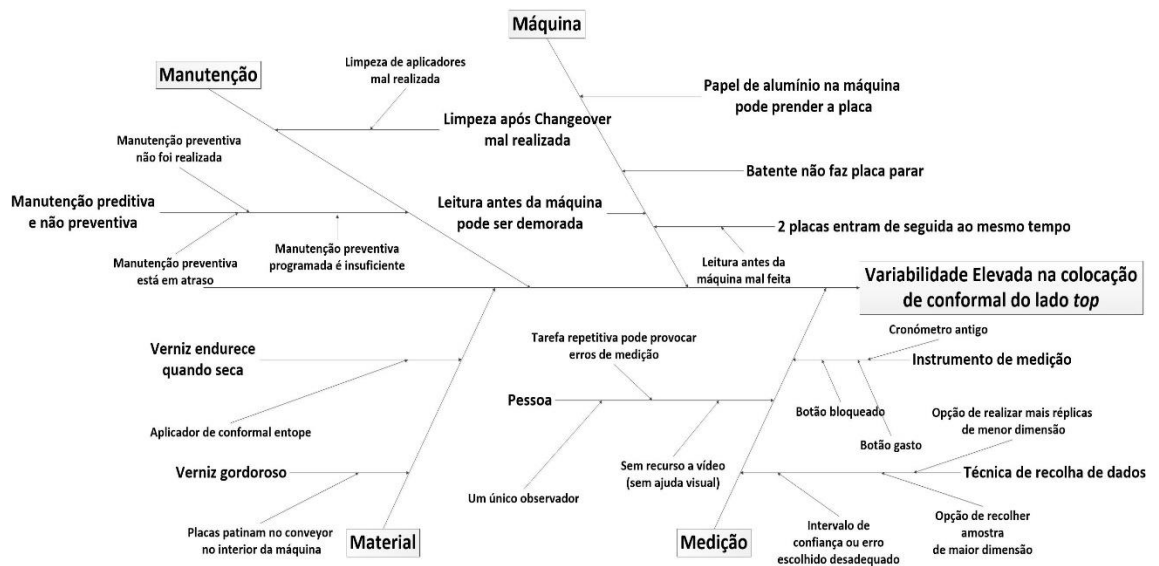


Figura C 5 - *Ishikawa* relativo à variabilidade no tempo de ciclo da máquina responsável pela colocação de *conformal* no lado top

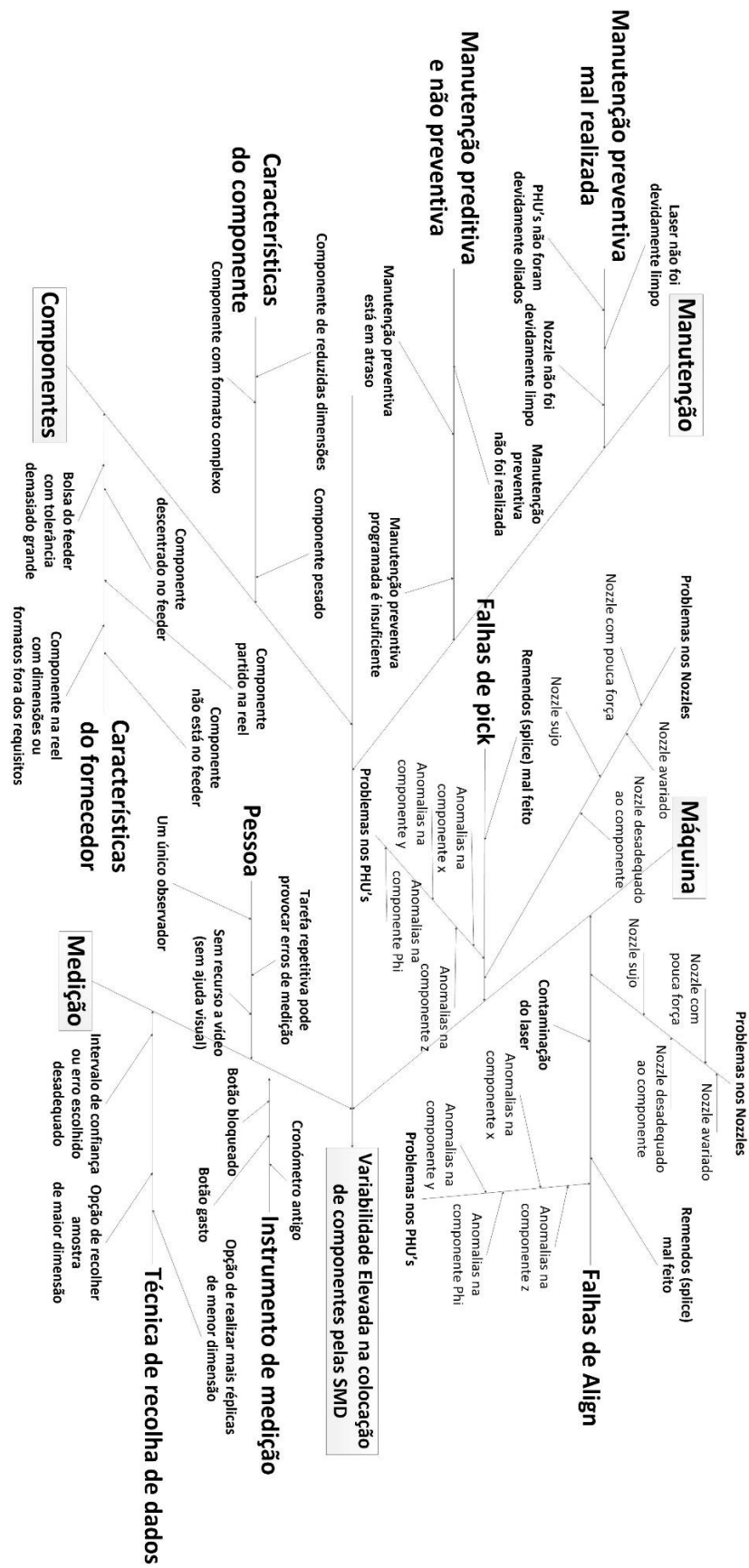


Figura C 6 - Ishikawa relativo à variabilidade no tempo de ciclo da máquina responsável pela colocação de componentes (em SMD)

Tabela C 13 - Primeira aproximação de distribuições

Operação	Modelos	Distribuição
Colocação labels	77C 78C 79C	21.8 + LOGN(0.285, 0.141)
	2A9	20.9 + 0.46 * BETA(1.79, 1.53)
	3A9 e 4A9	NORM(21.3, 0.205)
	AJR	30.7 + EXPO(0.222)
	D37	30.6 + WEIB(0.418, 2.59)
	56A	NORM(30.9, 0.402)
	D38	NORM(30.9, 0.232)
	AJS	NORM(21.3, 0.198)
	UPPERDISPLAY	25.3 + 1.56 * BETA(5.62, 5.27)
Colocação de solda lado top	77C 78C 79C	NORM(22.3, 0.29)
	2A9, 3A9 e 4A9	NORM(21.2, 0.262)
	AJR e D37	NORM(23.3, 0.287)
	56A	23.8 + ERLA(0.207, 4)
	D38	42.8 + 1.65 * BETA(1.12, 1.66)
	AJS	22 + EXPO(0.591)
	UPPERDISPLAY	TRIA(21, 22, 22.4)
SPI	77C 78C 79C e 4A9	NORM(15.4, 0.337)
	2A9	NORM(17.2, 0.199)
	3A9	TRIA(15.5, 15.9, 16.2)
	AJR	NORM(21.2, 0.506)
	D37	NORM(21.5, 0.187)
	56A	21.1 + GAMM(0.224, 4.94)
	D38	22.1 + LOGN(1.14, 0.575)
	AJS	17.1 + LOGN(0.368, 0.241)
	UPPERDISPLAY	18.2 + WEIB(0.627, 1.88)
SMD Placement - AX5	2A9 e 4A9	25.4 + WEIB(2, 9.17)
	77C 78C 79C	26.4 + WEIB(0.599, 4.23)
	3A9	NORM(27.4, 0.49)
	AJR	TRIA(23.3, 24.4, 25.6)
	D37	TRIA(26, 28.5, 29.4)
	56A	TRIA(40, 40.9, 44.7)
	D38	TRIA(42, 42.4, 42.7)
	AJS	29 + WEIB(1.24, 2.57)
	UPPERDISPLAY	30 + GAMM(0.396, 3.98)
SMD Placement - AX5	77C 78C 79C e 2A9	22 + 1.92 * BETA(12.3, 6.62)
	3A9	20.4 + WEIB(2.62, 6.01)
	4A9	22.8 + GAMM(0.0845, 5.58)
	56A e D38	38.2 + 3.36 * BETA(2.64, 2.44)
	AJR	20 + ERLA(0.191, 9)
	D37	24.2 + 4.29 * BETA(5.7, 1.48)
	AJS	19.7 + LOGN(1.37, 0.514)

Tabela C.13 - Primeira aproximação de distribuições (continuação)

Operação	Modelos	Distribuição
SMD Placement - AX5	UPPERDISPLAY	27 + WEIB(0.821, 1.19)
SMD Placement - Iflex	77C 78C 79C	NORM(17.1, 0.4)
	2A9	18.1 + 0.89 * BETA(1.61, 1.75)
	3A9	17 + 1.86 * BETA(2.78, 1.14)
	4A9	17.1 + 0.7 * BETA(1.39, 1.72)
	AJR	TRIA(19.2, 19.7, 20.1)
	D37	19.1 + 1.18 * BETA(2.55, 1.88)
	56A	28 + 1.86 * BETA(1.24, 1.72)
	D38	NORM(29.1, 0.23)
	AJS	24 + 2.35 * BETA(2.16, 2.31)
	UPPERDISPLAY	NORM(15.2, 0.17)
Cura lado top	77C 78C 79C e 3A9	25.2 + ERLA(0.233, 6)
	2A9	NORM(28.1, 0.466)
	4A9	24.4 + ERLA(0.259, 6)
	AJR D37	NORM(26.8, 0.842)
	AJS 56A	TRIA(24, 26, 27.5)
	D38	NORM(26.7, 0.411)
	UPPERDISPLAY	24 + 2 * BETA(0.978, 1.19)
AOI	77C 78C 79C	TRIA(19.2, 19.5, 19.9)
	2A9 e 3A9	19.3 + 1.24 * BETA(6.37, 6.67)
	4A9	NORM(20.4, 0.265)
	AJR	TRIA(33, 33.5, 34)
	D37	TRIA(32.6, 33, 34)
	56A	NORM(41.4, 0.286)
	D38	41.3 + 1.71 * BETA(1.44, 1.64)
	AJS	26.7 + LOGN(0.516, 0.385)
Colocação de solda lado bottom	UPPERDISPLAY	32.1 + LOGN(0.613, 0.371)
	77C 78C 79C	29.5 + 0.72 * BETA(1.46, 1.29)
	2A9	27.6 + WEIB(0.988, 2.81)
	3A9	28.1 + ERLA(0.0813, 7)
	4A9	28.5 + LOGN(0.752, 0.44)
	AJR	25.7 + 1.32 * BETA(1.82, 1.58)
	D37	NORM(26.5, 0.215)
	56 A e D38	NORM(32.1, 0.334)
	AJS	28.2 + WEIB(1.01, 2.5)
SPI	UPPERDISPLAY	27 + 1.46 * BETA(1.39, 1.34)
	77C 78C 79C	15.7 + LOGN(0.218, 0.107)
	2A9 e 3A9	NORM(15.3, 0.197)
	4A9	15 + LOGN(0.677, 0.371)
	AJR	NORM(19.8, 0.279)
	D37	TRIA(19.1, 19.6, 20)

Tabela C.13 - Primeira aproximação de distribuições (continuação)

SPI	56A	NORM(22, 0.174)
	D38	20.8 + 1.61 * BETA(3.48, 2.41)
	AJS	UNIF(15.1, 16.3)
	UPPERDISPLAY	17.5 + WEIB(0.837, 4.69)
SMD Placement AX	77C 78C 79C	21.5 + LOGN(0.483, 0.23)
	2A9	27.6 + WEIB(0.988, 2.81)
	3A9	TRIA(22.1, 22.9, 23.8)
	4A9	22.4 + WEIB(0.774, 3.64)
	56A	TRIA(24, 25.3, 25.8)
	D38	23.1 + 2.51 * BETA(1.04, 1.07)
	AJR	NORM(16.8, 0.343)
	D37	NORM(17.1, 0.285)
	AJS	NORM(22.2, 0.391)
	UPPERDISPLAY	23.6 + LOGN(1.67, 0.746)
	77C 78C 79C	21.1 + WEIB(1.71, 3.86)
SMD Placement AX	2A9	21.8 + LOGN(0.639, 0.364)
	3A9	21.7 + 2.25 * BETA(1.85, 2.07)
	4A9	25 + LOGN(0.424, 0.191)
	56A	TRIA(29.4, 32.1, 33)
	D38	29 + 2.59 * BETA(1.22, 1.42)
	AJR	21.4 + 1.56 * BETA(3.34, 1.85)
	D37	22.1 + ERLA(0.0863, 5)
	AJS	TRIA(21, 22.8, 23)
	UPPERDISPLAY	18.1 + LOGN(0.28, 0.169)
	77C 78C 79C	TRIA(10.6, 10.9, 11.1)
	2A9 e 3A9	8.72 + GAMM(0.094, 4.6)
SMD Placement - Iflex (2 EQUIP)	4A9	7.29 + WEIB(0.687, 3.78)
	AJR	NORM(28.7, 0.304)
	D37	27 + 2.27 * BETA(1.63, 0.749)
	56A	46.1 + 1.16 * BETA(1.55, 3.06)
	D38	TRIA(45.7, 46.2, 46.7)
	AJS	17.1 + 1.26 * BETA(1.05, 1.44)
	UPPERDISPLAY	NORM(32.3, 0.391)
	77C 78C 79C	25 + WEIB(1.05, 1.87)
	4A9 e 3A9	23.2 + WEIB(2.88, 6.83)
Cura lado bottom	2A9	NORM(25.9, 0.608)
	56A e D38	25.4 + 2.63 * BETA(3.11, 4.18)
	AJR	24 + WEIB(1.04, 2.82)
	D37	UNIF(23.1, 24)
	AJS	21.6 + 2.69 * BETA(3.06, 1.8)
	UPPERDISPLAY	24 + LOGN(0.883, 0.638)

Tabela C.13 - Primeira aproximação de distribuições (continuação)

Operação	Modelos	Distribuição
AOI	77C 78C 79C	26.4 + LOGN(0.126, 0.0717)
	2A9 e 3A9	24.1 + 2.56 * BETA(6.59, 9.64)
	4A9	31 + LOGN(1.43, 0.991)
	AJR	34.1 + LOGN(0.596, 0.334)
	D37	34.7 + ERLA(0.152, 6)
	56A	43.4 + WEIB(0.61, 2.25)
	D38	43.4 + LOGN(0.74, 0.368)
	AJS	NORM(31.1, 0.261)
	UPPERDISPLAY	34 + LOGN(0.517, 0.215)
Separação da placa mãe a meio	56A	20.4 + LOGN(0.959, 0.499)
	D38	21 + 1.19 * BETA(3.11, 2.02)
MDA (teste eletrônico)	77C 78C 79C	33.1 + 0.78 * BETA(1.07, 1.87)
	2A9	NORM(36.8, 0.314)
	3A9	36.5 + 0.99 * BETA(3.51, 2.89)
	4A9	33.2 + GAMM(0.167, 3.39)
	56A	30.1 + 2.9 * BETA(2.13, 1.62)
	D38	29.6 + LOGN(0.903, 0.591)
	AJR	UNIF(41.6, 42.8)
	D37	40.2 + LOGN(0.648, 0.342)
	AJS	31.5 + 0.94 * BETA(3.79, 2.4)
Flash (inserção de software)	77C 78C 79C	31.7 + LOGN(0.71, 0.488)
	2A9 e 4A9	31.7 + 1.8 * BETA(6.26, 7.86)
	3A9	NORM(32.8, 0.428)
	AJR	NORM(19.5, 0.0457)
	D37	NORM(18.5, 0.222)
	56 A D38	NORM(17.3, 0.275)
	AJS	NORM(42.8, 0.361)
	UPPERDISPLAY	46.4 + 3.45 * BETA(0.858, 1.26)
Conformal Top	56A	26.4 + 1.89 * BETA(1, 0.85)
	D38	25.9 + 0.64 * BETA(1.83, 2.76)
	AJR	NORM(57.4, 0.311)
	D37	57.2 + ERLA(0.0857, 5)
	AJS	TRIA(31.3, 32.2, 32.4)
	UPPERDISPLAY	41.7 + 2.3 * BETA(1.84, 1.09)
Conformal Bottom	56A	33.6 + ERLA(0.0924, 8)
	D38	TRIA(34, 34.3, 34.6)
	AJR	58.4 + 0.84 * BETA(2.71, 2.85)
	D37	58 + ERLA(0.238, 3)
	AJS	38.1 + 0.87 * BETA(2.08, 3.2)
	UPPERDISPLAY	TRIA(49.7, 50.2, 50.5)

Tabela C.13 - Primeira aproximação de distribuições (continuação)

Operação	Modelos	Distribuição
Conformal Oven	56A	TRIA(33, 33.6, 34.9)
	D38	33 + WEIB(1.32, 4.17)
	AJR	NORM(58.8, 0.266)
	D37	58 + LOGN(0.301, 0.291)
	AJS	NORM(38.4, 0.316)
	UPPERDISPLAY	47.2 + WEIB(2.74, 8.67)
Singulação	77C 78C 79C	25 + LOGN(0.28, 0.192)
	2A9	NORM(26.4, 0.139)
	3A9	NORM(26.4, 0.151)
	4A9	NORM(27.3, 0.204)
	AJR	22 + 1.16 * BETA(1.8, 0.988)
	D37	TRIA(22.4, 23, 23.2)
	56 A	17.9 + LOGN(0.222, 0.116)
	D38	17.8 + LOGN(0.455, 0.203)
	AJS	UNIF(20.8, 21.6)
	UPPERDISPLAY	NORM(28.2, 0.141)
colocação com prensa	77C 78C 79C	29.4 + ERLA(0.0674, 4)
	3A9 e 2A9	NORM(27, 0.405)
colocação cola	77C 78C 79C	NORM(93.1, 0.586)
	3A9	TRIA(85.5, 85.8, 87.7)
	4A9	82.6 + 1.9 * BETA(1.38, 1.22)
inspeção visual	77C 78C 79C e 4A9	1.97 + 0.2 * BETA(3.5, 3.57)
	3A9	NORM(2.74, 0.0651)

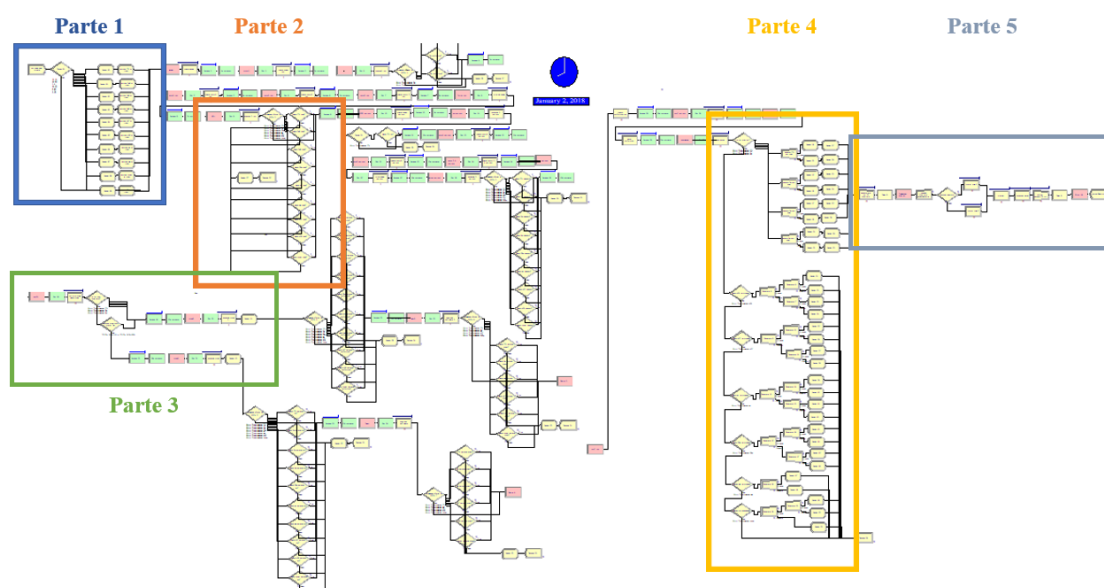


Figura C 7 - Visão geral do modelo de simulação

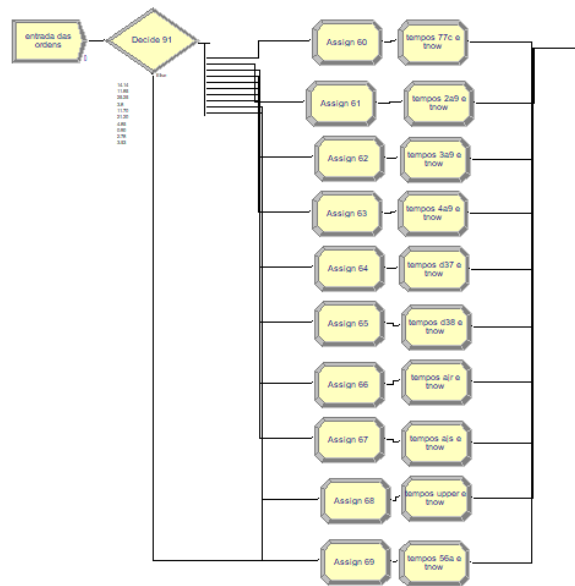


Figura C 8 - Entrada de pedidos diários no sistema (Parte 1)

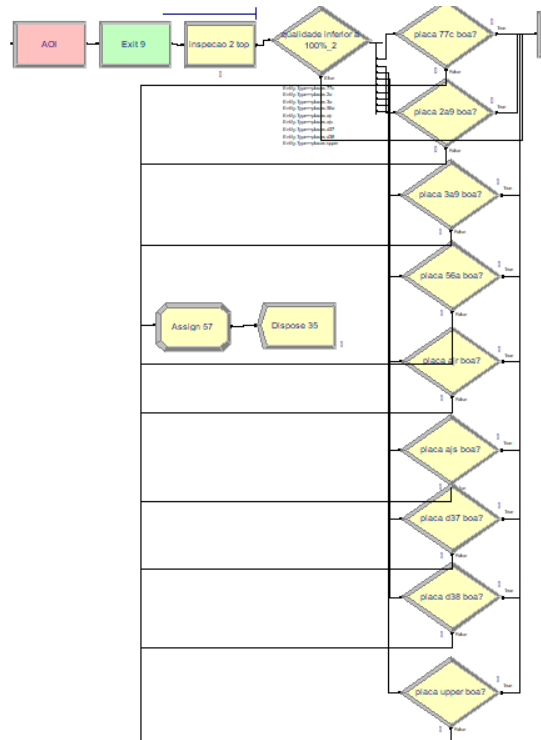


Figura C 9 - Exemplo da simulação de uma das fases de inspeção da linha em estudo – AOI *top* (Parte 2)

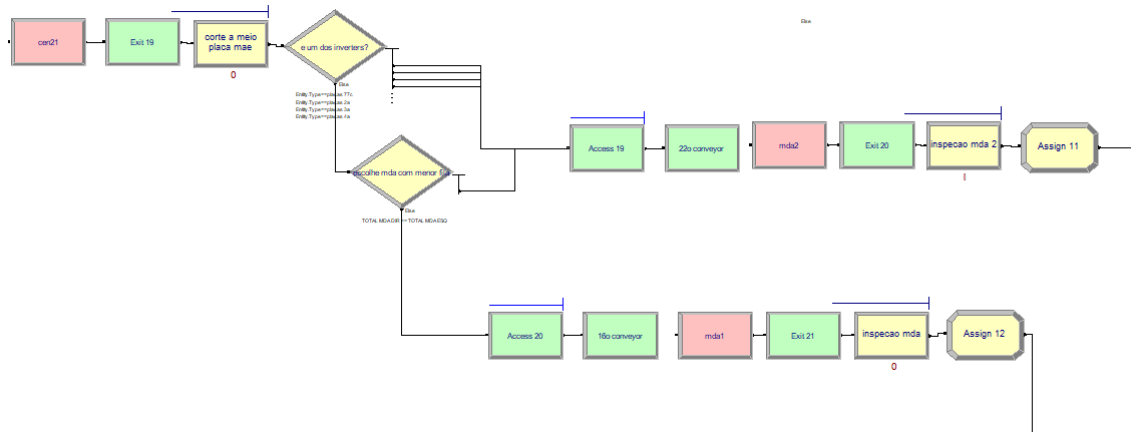


Figura C 10 - Simulação da escolha entre um dos MDA's para produtos que não sejam inverters (Parte 3)

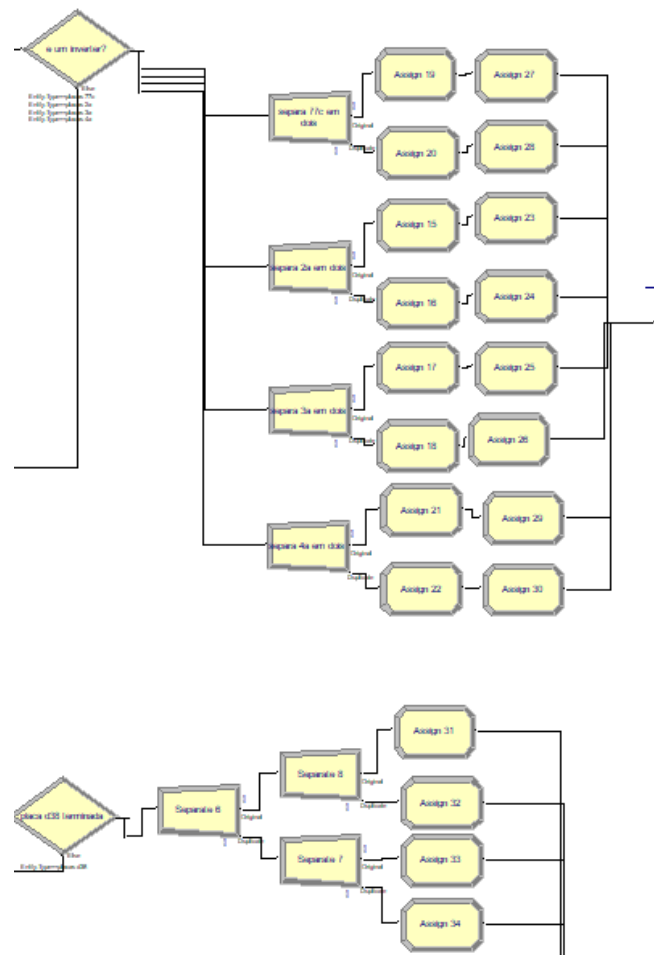


Figura C 11 - Separação dos produtos *inverters* de não *inverters* e singulação das placas (parte 4)

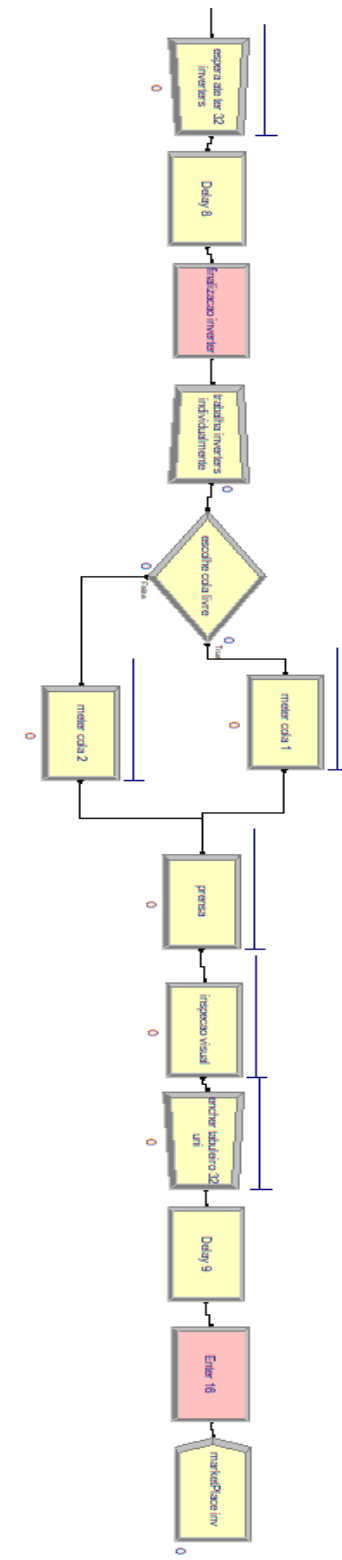


Figura C 12 - Linha responsável pela finalização de *inverter* (parte 5)

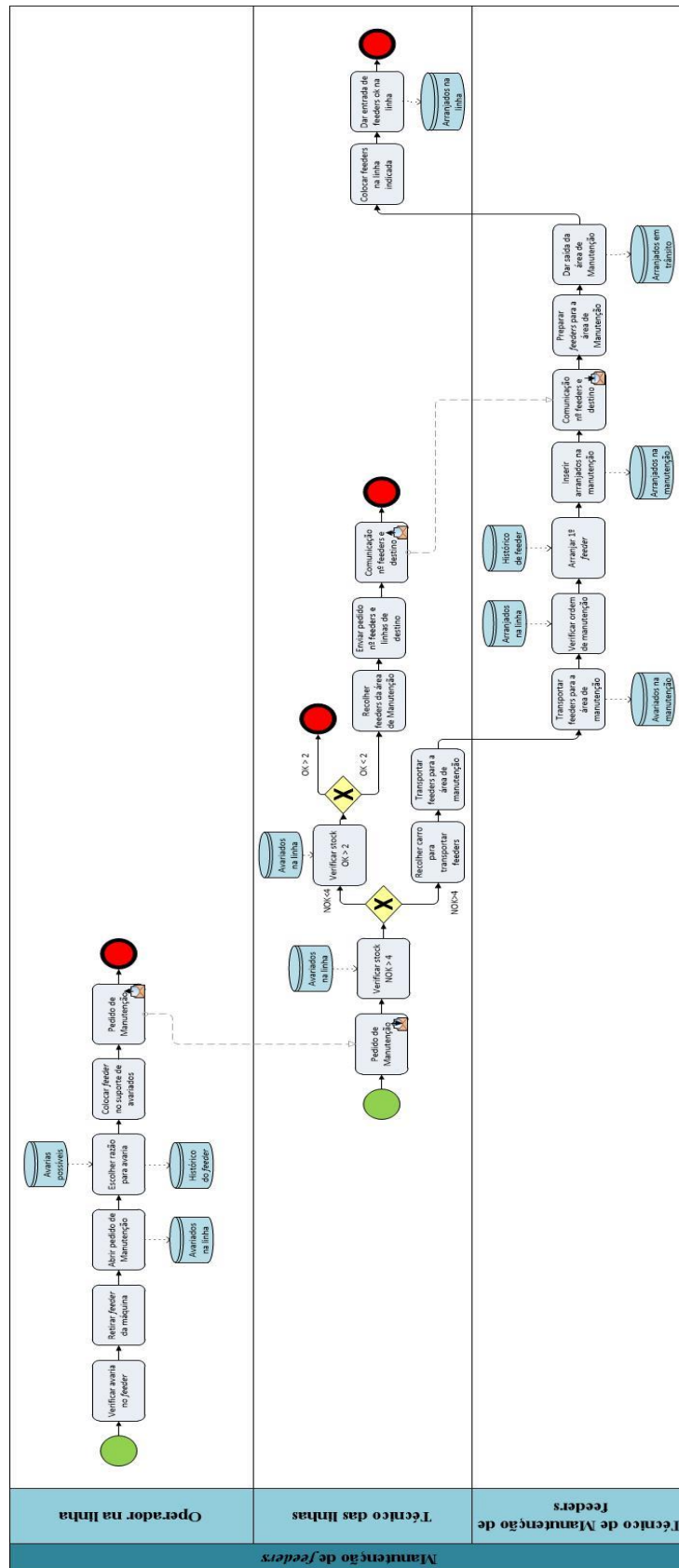


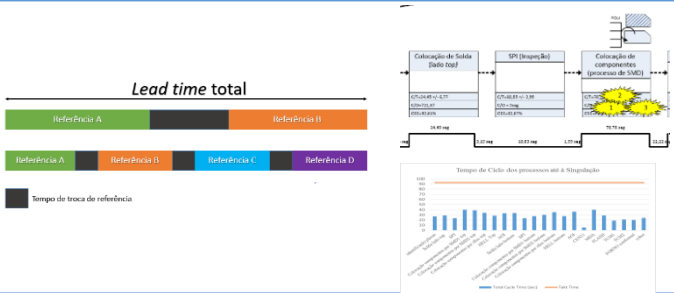
Figura C 13 - Proposta de Processo de Manutenção Corretiva do *Feeder*

Título: Reduzir tempo de *Changeover* da restrição (por aplicação da ferramenta SMED)

Equipa: Patrícia Carvalho; Nuno Fontes; Rui Silva; Coordenadora da linha; Luís Teixeira

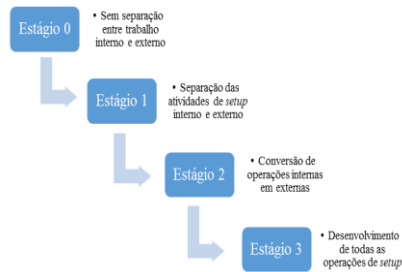
Introdução

- Desperdício do tipo “produção em excesso” para evitar alterações de *setup*
- Elevados tempos de espera para alteração de *setup* além da restrição



Análise

- Metodologia seguida:



- Estágio 0:

Compreender cada alteração de *setup* realizada; Dividir em classes os tipos de *changeover* de acordo com as alterações necessárias em cada um deles.

Atividade	Modelo Inverter para Modelo NGI	Modelo Inverter para Modelo Display	Modelo Inverter para Modelo Inverter	Modelo NGI para Modelo Inverter	Modelo NGI para Modelo Display	Modelo Display para Modelo Inverter	Modelo Display para Modelo NGI	Trabalhador responsável
Alteração nas máquinas de SMD	X	X		X			X	Operador 2
Esperar carrinhos até meio da linha	X	X		X			X	Operador 1
Troca de carrinhos de SMD 1	X	X	X	X	X	X	X	Operador 1
Troca de programa de SMD 1	X	X	X	X	X	X	X	Operador 2
Colocar carrinhos que deixam de ser utilizados novamente fora da linha	X	X		X			X	Operador 2

Propostas

Propostas do Estágio 1

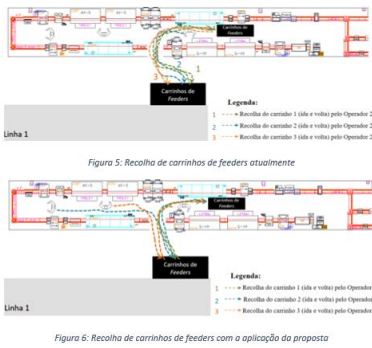
Objetivo: Separação entre atividades internas e externas. Uma atividade interna torna-se externa através de uma pequena alteração ao processo atual

Atividade	Tipo de Atividade	Estado Atual	Proposta
Colocar carrinhos que deixam de ser utilizados novamente fora da linha	Interna	As atividades de colocação dos carrinhos no meio da linha e devolução dos antigos ao local próprio, fora da linha, interrompem frequentemente a produção uma vez que, para colocar ou retirar os carrinhos da linha, é necessário levantar o conveyor, antes do forno, interrompendo a passagem de peças da máquina SMD 1 do lado <i>top</i> para o forno. A atividade de colocação dos carrinhos no meio da linha não pode ser feita noutra altura (pois que será considerada Atividade Interna).	1. A devolução dos carrinhos que não serão utilizados para a produção do novo modelo deve ser realizada apenas no momento em que o forno, já vazio, está a arrefecer, garantindo que não existe interrupção de produção para esta atividade.



Propostas do Estágio 2

Objetivo: Reduzir tempo de atividades interno (através de *lean design* na criação de novas ferramentas, para a troca de carrinhos e rebalanceamento de atividades para “Empurrar carrinhos até meio da linha”, que também pode ser aplicada para a tividade externa no estágio 3)



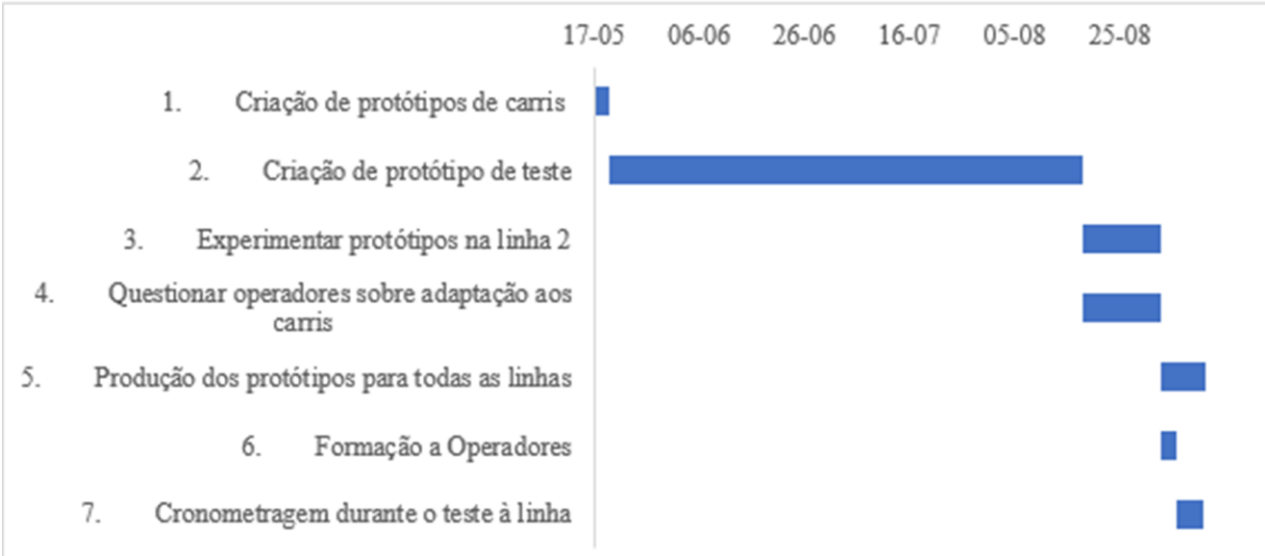
Plano de Ação

Condição necessária	Razão para a condição necessária	Efeito esperado	Responsável
1. Criação de protótipos de carris	Tarefas demoradas e com muitos <i>retries</i>	Desenho da peça em Autocad e escolha do material	Patrícia Carvalho
2. Criação de protótipo de teste	Deve ser testado numa linha para depois ser ou não extrapolado para outras	Peças produzidas para teste	Patrícia Carvalho; Nuno Fontes; Luís Teixeira
3. Experimentar protótipos na linha 2	Antes de ser feito para outras linhas deve ser testado numa	Tarefa mais rápida	Rui Silva; Nuno Fontes
4. Questionar operadores sobre adaptação aos carris	São os operadores que vão utilizar este mecanismo sendo essencial os seus <i>inputs</i>	Operadores confirmam que a tarefa é facilitada com os carris	Rui Silva
5. Produção dos protótipos para todas as linhas	Oportunidade de aplicar o mesmo às outras linhas	Tornar <i>changeover</i> mais rápido para todas as linhas da fábrica	Nuno Fontes; Luís Teixeira
6. Formação a Operadores	Explicar alterações aos Operadores	Todos os Operadores conhecem nova ordem de trabalhos	Rui Silva; Coordenadora da linha
7. Cronometragem durante o teste à linha	Analisar melhorias	Verificar maior capacidade	Artur Jesus; Nuno Fontes

Obstáculos esperados

- Adaptação dos operadores à ferramenta sugerida;
- Falta de verbas para criação da ferramenta

Calendarização

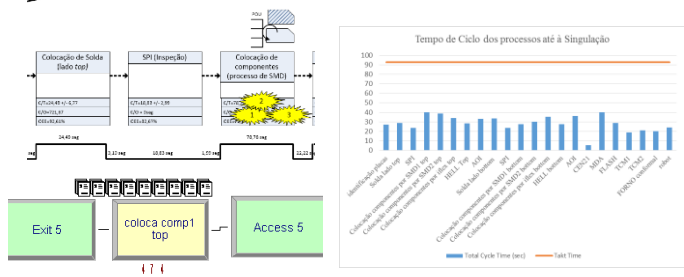


Título: Reduzir o tempo de ciclo das operações manuais no processo “colocação de componentes à superfície parte 1” em pelos 40%

Equipa: Patrícia Carvalho;
Rui Silva; Equipa
Procurement; Ana Carlota;
Vitor Pacheco

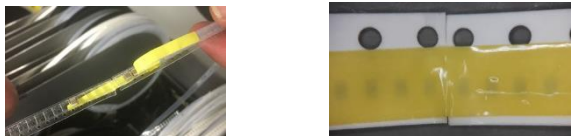
Introdução

- Restrição do processo onde foram identificadas várias fontes de variabilidade e desperdício
- Elevada fila de espera para esta estação
- Muitas vezes a máquina para porque a tarefa manual não é concluída a tempo

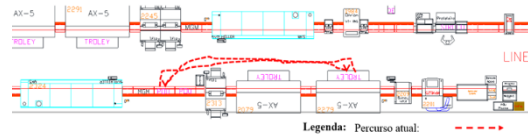


Análise

- Elevado número de falhas e encravamento das máquinas por *Splice* mal feito (separação das duas fitas e desalinhamento).



- Tempo de movimentações dentro do posto de trabalho elevado.

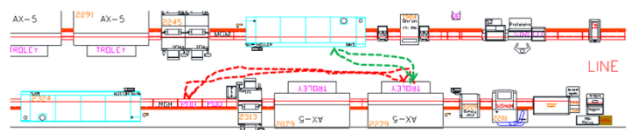


Fluxo de processos atual

Ordem	Atividades	Tipo de operação	Duração esperada	Distância percorrida
1	Verificação da <i>reel</i> em causa		2,4	
2	Percurso até ao armário		9,41	10
3	Identificação do local da <i>reel</i> (no POU)		21	
4	Percursos até à máquina		9,41	10
5	Corte da ponta da fita da nova <i>reel</i>		6,94	
6	Corte da ponta da fita da <i>reel</i> na máquina		7,84	
7	Levantamento da película autocolante da <i>reel</i> nova		24	
8	Levantamento da película autocolante da <i>reel</i> na máquina		25	
9	Colocação da fita autocolante no lado 1		5	
10	Colocação da fita autocolante no lado 2		7	
11	Colocação alinhada da fita da <i>reel</i> nova entre as duas fitas autocolantes		8,4	
12	Colar bem os dois lados		7,41	
13	Retirar restos da fita autocolante		8	
14	Depositar restos na caixa		3	
Total			144,81 segundos	20 metros

Propostas

- Alteração do processo e da ferramenta a utilizar
- Alteração de *layout*



Seguir um novo Fluxo de processos

Ordem	Atividades	Tipo de operação	Duração esperada	Distância percorrida
1	Verificação da <i>reel</i> em causa		2,4	
2	Percurso até ao armário		3,06	1,25
3	Identificação do local da <i>reel</i> (no POU)		21	
4	Percurso até à máquina		3,06	1,25
5	Corte da ponta da fita da nova <i>reel</i>		6,94	
6	Corte da ponta da fita da <i>reel</i> na máquina		7,84	
7	Colocação da ponta da fita da <i>reel</i> da máquina no <i>splice tool</i>		5	
8	Colocação da ponta da fita da <i>reel</i> nova no <i>splice tool</i>		7	
9	Pressionar <i>splice tool</i>		3	
10	Colocação da fita autocolante lado 1		10	
11	Retirar fitas do <i>splice tool</i>		1	
12	Colar fita autocolante no verso		2	
13	Retirar restos		2	
Total			74,3 segundos	2,5 metros

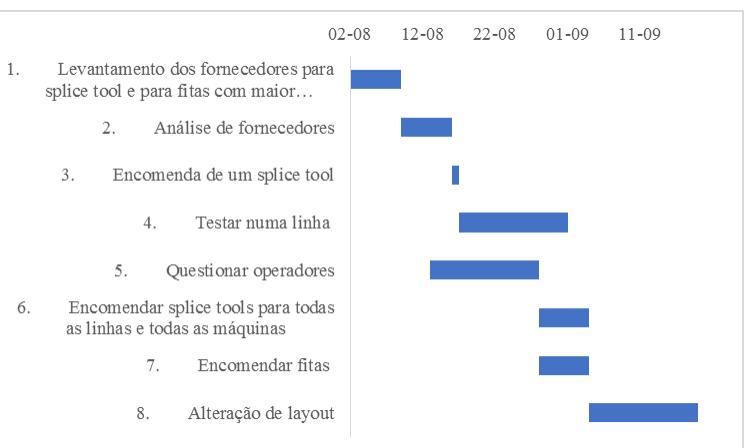
Plano de Ação

Condição necessária para alteração da ferramenta	Razão para a condição necessária	Efeito esperado	Responsável
1. Levantamento dos fornecedores para <i>splice tool</i> e para fitas com maior elasticidade e cola mais resistente	Obter base para análise de fornecedores	Lista de fornecedores possíveis	Carlota; Rui Silva; Equipa <i>Procurement</i> ; Vitor Pacheco
2. Análise de fornecedores	Identificar fornecedor	Fornecedor escolhido	Equipa <i>Procurement</i>
3. Encomenda de um <i>splice tool</i>	Ter a ferramenta para fase de teste	<i>Splice Tool</i> na fábrica	Equipa <i>Procurement</i> ; Carlota
4. Testar numa linha	Comprovar se o tempo de ciclo é menor, se a tarefa é simplificada e se não há tantas falhas no <i>splice</i>	Tempo de ciclo menor; Tarefa mais simples; Diminuição do número de falhas	Rui Silva
5. Questionar operadores	Identificar dificuldades na utilização da nova ferramenta	Operador conclui que o <i>sniping tool</i> facilita o <i>splice</i>	Rui Silva
6. Encomendar <i>splice tools</i> para todas as linhas e todas as máquinas	Adaptação da nova realidade da linha 2 às restantes linhas de <i>board prep</i>	Todas as linhas, em cada máquina, possuem um <i>splice tool</i>	Equipa <i>Procurement</i> ; Carlota
7. Encomendar fitas	Fitas anteriores são pouco elásticas e possuem cola fraca	Novas fitas vão garantir menor número de erros no <i>splice</i>	Equipa <i>Procurement</i> ; Carlota
Condição necessária para alteração de <i>layout</i>	Razão para a condição necessária	Efeito esperado	Responsável
8. Alteração de <i>layout</i>	Longa distância a percorrer	Menor tempo e distância a percorrer	Rui Silva; Cristina

Obstáculos esperados

- Adaptação dos operadores à ferramenta;
- Compra da ferramenta não autorizada;
- Atrasos na mudança de *Layout*.

Calendarização

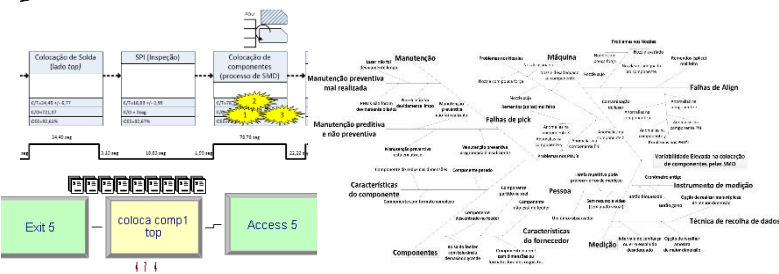


Título: Reduzir variabilidade da máquina através da redução dos erros de *Pick* e *Align* para impactos na máquina inferiores a 20%

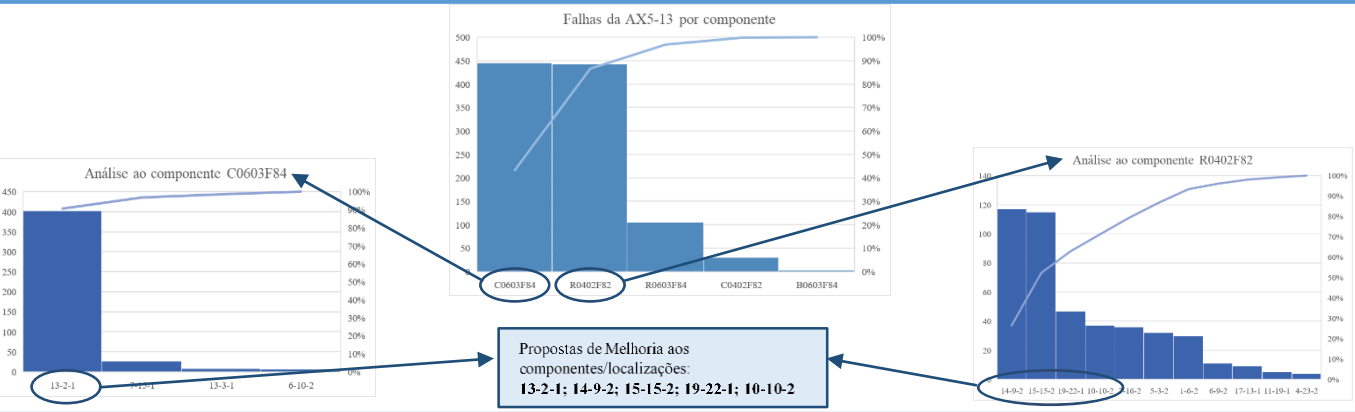
Equipa: Patrícia Carvalho; Técnico; Equipa de Manutenção; Equipa Procurement; Equipa Six Sigma; Equipa Builds

Introdução

- Restrição do processo onde foram identificadas várias fontes de variabilidade
- Elevada fila de espera para esta estação
- Tempo de ciclo da máquina com elevada variabilidade



Análise



Propostas

Metodologia a seguir

Propostas implementadas

13-2-1

10-10-2

Impacto máximo na Máquina inicialmente = 56%

Propostas a implementar

19-22-1

Reduzir tamanho do pocket 14-9-2

Programas e troca de nozzles para os corretos

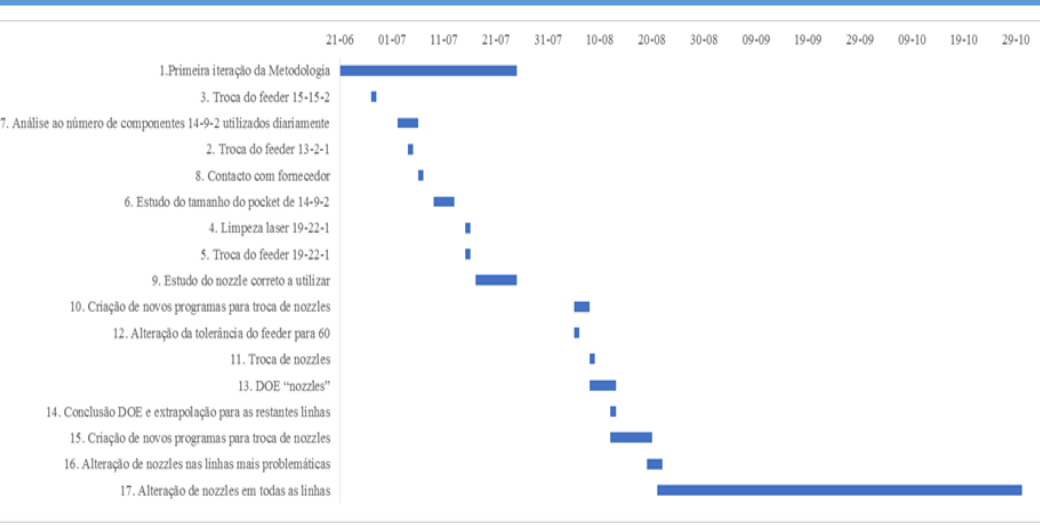
Alteração da tolerância do feeder para 60

Impacto máximo na Máquina depois = 26%

Plano de Ação

Condição necessária	Razão para a condição necessária	Efeito esperado	Responsável
1.Primeira iteração da Metodologia	Iniciar o ciclo de Melhoria Contínua	Identificar localizações e componentes mais problemáticos	Patrícia Carvalho; Técnico
2. Troca do feeder 13-2-1	Restantes conformes	Redução de erros nesta posição	Patrícia Carvalho; Técnico
3. Troca do feeder 15-15-2	Restantes conformes	Redução de erros nesta posição	Patrícia Carvalho; Técnico
4. Limpeza laser 19-22-1	Laser com impurezas	Redução de erros nesta posição	Técnico
5. Troca do feeder 19-22-1	Restantes conformes	Redução de erros nesta posição	Patrícia Carvalho; Técnico
6. Estudo do tamanho do pocket de 14-9-2	No ecrã “adjust pick-up position” verificou-se folga	Tamanho médio do pocket grande, pequeno ou desadequado	Patrícia Carvalho; Six Sigma
7. Análise ao número de componentes 14-9-2 utilizados diariamente	Avaliar se compensa contactar fornecedor	Erros nas restantes linhas compensa possível aumento do preço, ou não	Equipa Procurement
8. Contacto com fornecedor	Pedir para reduzir pocket	Proposta de preço para tamanho requerido	Equipa Procurement
9. Estudo do nozzle correto a utilizar	Elevadas falhas de pick	Nozzle mais adequado para cada componente	Patrícia Carvalho; Six Sigma; Metrologia
10. Criação de novos programas para troca de nozzles	Nozzles em utilização desadequados	Nozzles adequados na máquina para DOE	Equipa Builds
11. Troca de nozzles	Possibilitar Tolerância pretendida	Menos falhas de pick e menor tolerância em y	Técnico de Manutenção de feeder
12. Alteração da tolerância do feeder para 60	Verificar que nozzles propostos são a melhor opção	Confirmação de que Nozzles propostos são a melhor opção	Equipa Six Sigma
13. DOE “nozzles”	Nozzle escolhido consoante o componente em estudo	Menos falhas de pick em todas as linhas	Equipa Builds
14. Conclusão DOE e extrapolação para as restantes linhas	Nozzles em utilização desadequados		Técnico
15. Criação de novos programas para troca de nozzles			Técnico
16. Alteração de nozzles nas linhas mais problemáticas			
17. Alteração de nozzles em todas as linhas			

Calendarização



Título: Redesenho do Processo de Manutenção corretiva de *feeders* e seu controlo

Equipa: Patrícia Carvalho;
Nuno Fontes; IT; Mainti4;
Sistemas; Equipa de
Manutenção; Engenheiros de
Linha; Plant Engineer

Introdução

- Aplicação atual restringe-se à área de Manutenção
- *Feeder* sai da linha muitas vezes sem relatório nem registo da linha de origem
- Carros de *feeders* para arranjar não têm uma separação clara entre o que está reparado e o que deve ser arranjado
- Nem sempre é possível saber o histórico completo de um *feeder*

Análise

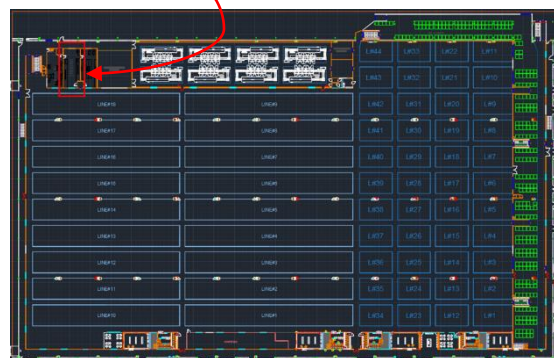
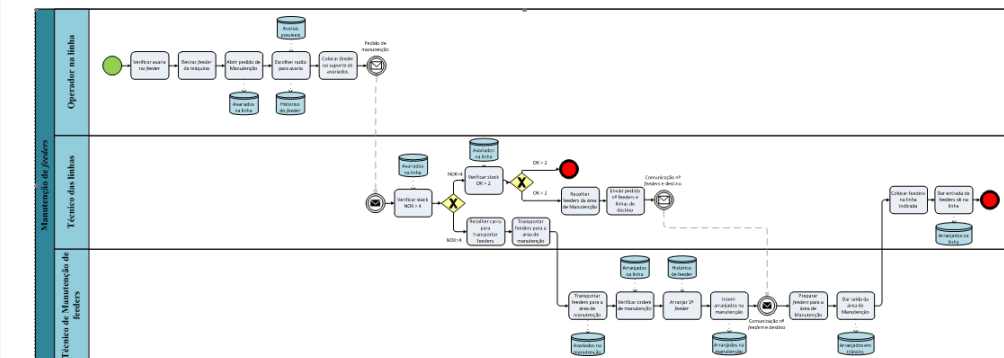
NumReparac	DataReparac	Label	OrigemEntreg	DescricaoAvariaEntreg	DescricaoReparac	MaterialUsado
21581	09-08-2011	PF30842553	Buils	Sai do Passo	Motor	PEEL OFF MOTOR: P/ FEEDER TTF DUPL0
48433	29-10-2018	pf30842553	Linha 5	Sem Relatório	nozzle	NOZZLE: NOZZLE CATCH LOWER LANE
48925	11-01-2019	pf30842553	Linha 23	Sem Relatório	Manutenção	
49932	09-07-2019	pf30842553	Linha 7	Sem Relatório	Reel Pin	PINO: PINO PARA REEL FCM
49956	16-07-2019	pf30842553	Linha 6	Sem Relatório	Manutenção	

- ➔ Retirou-se o *feeder* da máquina da Linha 2 a 04-07-2019
- ➔ Não se sabe onde está o *feeder* entre os dias 4 e 9 de Julho
- ➔ Linha de Origem está errada (técnico trouxe *feeder* sem relatório)
- ➔ *Feeders* sem relatório não permitem saber origem nem avaria (necessário fazer todos os testes 4:22:40)
- ➔ Não existia ordem para arranjar os *feeders*

Atividade	Falha / Potencial Falha	Proposta de melhoria
Feeder e entrada de linha	<ul style="list-style-type: none">• Não é necessário identificar o <i>feeder</i> que saiu da linha• Não é necessário identificar o <i>feeder</i> que entrou na linha• Não é necessário identificar o <i>feeder</i> que saiu da linha• Não é necessário identificar o <i>feeder</i> que entrou na linha	<ul style="list-style-type: none">• A aplicação tem que designar o <i>feeder</i> que saiu da linha e o <i>feeder</i> que entrou na linha• O <i>feeder</i> que saiu da linha tem que ser identificado• O <i>feeder</i> que entrou na linha tem que ser identificado• O <i>feeder</i> que saiu da linha tem que ser identificado• O <i>feeder</i> que entrou na linha tem que ser identificado
Feeder e entrada de linha	<ul style="list-style-type: none">• Não é necessário identificar o <i>feeder</i> que saiu da linha• Não é necessário identificar o <i>feeder</i> que entrou na linha• Não é necessário identificar o <i>feeder</i> que saiu da linha• Não é necessário identificar o <i>feeder</i> que entrou na linha	<ul style="list-style-type: none">• A aplicação tem que designar o <i>feeder</i> que saiu da linha e o <i>feeder</i> que entrou na linha• O <i>feeder</i> que saiu da linha tem que ser identificado• O <i>feeder</i> que entrou na linha tem que ser identificado• O <i>feeder</i> que saiu da linha tem que ser identificado• O <i>feeder</i> que entrou na linha tem que ser identificado
Feeder e entrada de linha	<ul style="list-style-type: none">• Não é necessário identificar o <i>feeder</i> que saiu da linha• Não é necessário identificar o <i>feeder</i> que entrou na linha• Não é necessário identificar o <i>feeder</i> que saiu da linha• Não é necessário identificar o <i>feeder</i> que entrou na linha	<ul style="list-style-type: none">• A aplicação tem que designar o <i>feeder</i> que saiu da linha e o <i>feeder</i> que entrou na linha• O <i>feeder</i> que saiu da linha tem que ser identificado• O <i>feeder</i> que entrou na linha tem que ser identificado• O <i>feeder</i> que saiu da linha tem que ser identificado• O <i>feeder</i> que entrou na linha tem que ser identificado
Feeder e entrada de linha	<ul style="list-style-type: none">• Não é necessário identificar o <i>feeder</i> que saiu da linha• Não é necessário identificar o <i>feeder</i> que entrou na linha• Não é necessário identificar o <i>feeder</i> que saiu da linha• Não é necessário identificar o <i>feeder</i> que entrou na linha	<ul style="list-style-type: none">• A aplicação tem que designar o <i>feeder</i> que saiu da linha e o <i>feeder</i> que entrou na linha• O <i>feeder</i> que saiu da linha tem que ser identificado• O <i>feeder</i> que entrou na linha tem que ser identificado• O <i>feeder</i> que saiu da linha tem que ser identificado• O <i>feeder</i> que entrou na linha tem que ser identificado
Feeder e entrada de linha	<ul style="list-style-type: none">• Não é necessário identificar o <i>feeder</i> que saiu da linha• Não é necessário identificar o <i>feeder</i> que entrou na linha• Não é necessário identificar o <i>feeder</i> que saiu da linha• Não é necessário identificar o <i>feeder</i> que entrou na linha	<ul style="list-style-type: none">• A aplicação tem que designar o <i>feeder</i> que saiu da linha e o <i>feeder</i> que entrou na linha• O <i>feeder</i> que saiu da linha tem que ser identificado• O <i>feeder</i> que entrou na linha tem que ser identificado• O <i>feeder</i> que saiu da linha tem que ser identificado• O <i>feeder</i> que entrou na linha tem que ser identificado
Feeder e entrada de linha	<ul style="list-style-type: none">• Não é necessário identificar o <i>feeder</i> que saiu da linha• Não é necessário identificar o <i>feeder</i> que entrou na linha• Não é necessário identificar o <i>feeder</i> que saiu da linha• Não é necessário identificar o <i>feeder</i> que entrou na linha	<ul style="list-style-type: none">• A aplicação tem que designar o <i>feeder</i> que saiu da linha e o <i>feeder</i> que entrou na linha• O <i>feeder</i> que saiu da linha tem que ser identificado• O <i>feeder</i> que entrou na linha tem que ser identificado• O <i>feeder</i> que saiu da linha tem que ser identificado• O <i>feeder</i> que entrou na linha tem que ser identificado
Feeder e entrada de linha	<ul style="list-style-type: none">• Não é necessário identificar o <i>feeder</i> que saiu da linha• Não é necessário identificar o <i>feeder</i> que entrou na linha• Não é necessário identificar o <i>feeder</i> que saiu da linha• Não é necessário identificar o <i>feeder</i> que entrou na linha	<ul style="list-style-type: none">• A aplicação tem que designar o <i>feeder</i> que saiu da linha e o <i>feeder</i> que entrou na linha• O <i>feeder</i> que saiu da linha tem que ser identificado• O <i>feeder</i> que entrou na linha tem que ser identificado• O <i>feeder</i> que saiu da linha tem que ser identificado• O <i>feeder</i> que entrou na linha tem que ser identificado
Feeder e entrada de linha	<ul style="list-style-type: none">• Não é necessário identificar o <i>feeder</i> que saiu da linha• Não é necessário identificar o <i>feeder</i> que entrou na linha• Não é necessário identificar o <i>feeder</i> que saiu da linha• Não é necessário identificar o <i>feeder</i> que entrou na linha	<ul style="list-style-type: none">• A aplicação tem que designar o <i>feeder</i> que saiu da linha e o <i>feeder</i> que entrou na linha• O <i>feeder</i> que saiu da linha tem que ser identificado• O <i>feeder</i> que entrou na linha tem que ser identificado• O <i>feeder</i> que saiu da linha tem que ser identificado• O <i>feeder</i> que entrou na linha tem que ser identificado
Feeder e entrada de linha	<ul style="list-style-type: none">• Não é necessário identificar o <i>feeder</i> que saiu da linha• Não é necessário identificar o <i>feeder</i> que entrou na linha• Não é necessário identificar o <i>feeder</i> que saiu da linha• Não é necessário identificar o <i>feeder</i> que entrou na linha	<ul style="list-style-type: none">• A aplicação tem que designar o <i>feeder</i> que saiu da linha e o <i>feeder</i> que entrou na linha• O <i>feeder</i> que saiu da linha tem que ser identificado• O <i>feeder</i> que entrou na linha tem que ser identificado• O <i>feeder</i> que saiu da linha tem que ser identificado• O <i>feeder</i> que entrou na linha tem que ser identificado

Propostas

- ➔ Permite à equipa de Manutenção conhecer o tipo de *feeders* mais prioritário a arranjar
- ➔ Permite conhecer o número de *feeders* arranjados e avariados, em *stock*, em cada uma das linhas
- ➔ Permite enviar pedidos de recolha de *feeders* avariados, das linhas, quando existem mais que 4 em *stock* na linha e reparados, da área de manutenção, quando existem menos que 2 em *stock* na área de Manutenção
- ➔ É possível saber, a qualquer momento, onde está determinado *feeder*, e todo o seu histórico de reparações
- ➔ Maior controlo na entrada e saída dos *feeders* por existir área fechada para Manutenção de *feeders*



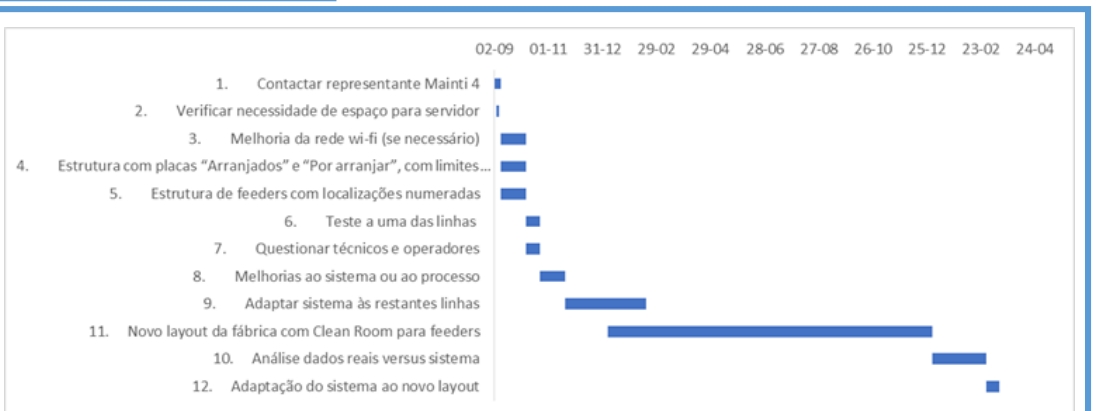
Plano de Ação

Condição necessária	Razão para a condição necessária	Efeito esperado	Responsável
1. Contactar representante Mainti 4	Conhecer mais sobre software	Conhecer fornecedor e avaliar custos de implementação	Nuno Fontes; Equipa Manutenção
2. Verificar necessidade de espaço para servidor	Conhecer limitações	Adaptar espaço para servidor	Sistemas
3. Melhoria da rede wi-fi (se necessário)	Rede wi-fi fraca dentro da fábrica	Melhoria da rede wi-fi	IT e Fornecedor Mainti4
4. Estrutura com placas "Arranjados" e "Por arranjar", com limites máximos e mínimos marcados	Controlo visual daquilo que está arranjado e avariado na linha	Estruturas de <i>feeders</i> totalmente preparadas para a aplicação do <i>software</i>	Nuno Fontes; Equipa Manutenção
5. Estrutura de <i>feeders</i> com localizações numeradas	<i>Software</i> dará local onde colocar o <i>feeder</i> que dá entrada e o local de onde se retira o <i>feeder</i> que dará saída		Nuno Fontes; Equipa Manutenção
6. Teste a uma das linhas	Verificar bom funcionamento do processo e da aplicação	Encontrar pontos a melhorar, na aplicação ou no processo	Nuno Fontes; Equipa Manutenção; Engenheiro da linha
7. Questionar técnicos e operadores	Verificar fácil adaptação dos operadores e técnicos ao novo sistema		Engenheiro da linha; Equipa Manutenção
8. Melhorias ao sistema ou ao processo	Com <i>inputs</i> dados pelos envolvidos ou eventuais falhas durante o teste são identificados pontos a melhorar	Pontos a melhorar tratados	Fornecedor Mainti4
9. Adaptar sistema às restantes linhas	Este é um processo que tem que envolver toda a área de <i>Board-Prep</i>	Utilização da aplicação por todas os interessados da área	Fornecedor Mainti4
10. Análise dados reais versus sistema	Avaliação do cumprimento do processo por parte dos técnicos e operadores	Saber se o sistema foi bem aceite e bem implementado	Fornecedor Mainti4; Nuno Fontes
11. Novo layout da fábrica com Clean Room para feeders	Novo layout já desenvolvido	Maior controlo de entrada e saída de <i>feeders</i> se se tratar de uma área fechada	Plant Engineer; Técnicos
12. Adaptação do sistema ao novo layout	É necessário alterar toda a área de manutenção de <i>feeders</i>	Sistema re-inicia o seu funcionamento sem perder histórico	Fornecedor Mainti4; Equipa Manutenção

Obstáculos esperados

- Mainti4 pode exigir elevado esforço financeiro
- Melhoria de wi-fi pode ser um processo muito demorado
- Novo *layout* com *clean room* pode ter atrasos

Calendarização



Anexos D – Aplicação do Método SMED

Análise do processo de *Changeover* e aplicação do método SMED

Numa linha multimodelo são produzidos vários produtos, sendo que entre o fabrico de cada um dos diferentes produtos existe uma paragem na linha que permite adaptá-la ao produto que irá entrar em produção - a estas paragens dá-se o nome de *setup* e a esta mudança o nome de *changeovers*.

No caso da linha em estudo, dado o elevado número de modelos atualmente aí produzidos, o número médio de *Changeovers* realizados por dia e a complexidade e tempo inerentes a esta atividade, considerou-se importante aplicar o método SMED. Assim, em seguida faz-se uma breve introdução a esta ferramenta *Lean*, bem como a sua aplicação à linha em estudo.

Breve apresentação da ferramenta SMED

Esta ferramenta tem como foco a redução dos tempos de *setup*, isto é, a redução dos tempos de troca de referências em produção, numa máquina ou numa série de máquinas interligadas pela troca de peças, ferramentas, moldes, etc (Bidarra, T. 2011).

Quando os tempos de *setup* são elevados, os lotes produzidos são, normalmente, também elevados, o que significa uma gestão de *stocks* de grandes dimensões. No entanto, e segundo Shingo (Shingo, 1985) a forma de minimizar o impacto da inatividade das máquinas durante a troca de ferramentas não é diluir o respetivo tempo e custo associados, num lote de grandes dimensões, mas sim através de uma diminuição efetiva deste tempo de inatividade, aplicando a ferramenta SMED.

Para além da diminuição e custos de gestão dos lotes, várias são as vantagens desta ferramenta. Em primeiro lugar, espera-se que com a sua aplicação seja possível diminuir os custos de mão-de-obra envolvidos nas longas mudanças. No entanto, sendo o principal foco a diminuição de inatividade por mudanças de *setup*, espera-se um aumento do tempo útil de produção e um aumento da flexibilidade e disponibilidade dos equipamentos.

Aliado ao conceito de flexibilidade está a resposta rápida às variações de mercado, permitindo a produção em função dos pedidos do cliente a preços mais competitivos, o que se traduz num aumento da satisfação do Cliente. Relativamente ao conceito de disponibilidade de

equipamento, este contribui para uma produção diferenciada mais eficaz com lead times reduzidos, tal como exemplificado na figura 1.

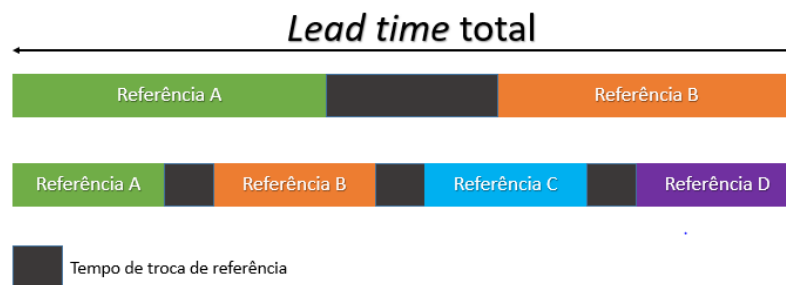


Figura 1: Aumento da Flexibilidade com aplicação do SMED

Figura 2: Aumento da Flexibilidade com aplicação do SMED

Para além das vantagens anteriormente referidas há que ter em conta o aumento da qualidade que, com a simplificação, padronização de tarefas, treino e eliminação de ajustes e afinações potencia a diminuição da variabilidade do processo e, por isso, contribui para a prevenção de problemas na fonte (Bidarra, T. 2011).

Modelo utilizado para aplicação da ferramenta SMED

O modelo utilizado para a aplicação da ferramenta SMED passa por quatro fases ou estágios fundamentais e tem como foco a redução dos tempos de *setup* interno e externo, introduzidos por Shigeo Shingo (Shingo, 1985). Segundo o autor, o *setup* interno diz respeito ao trabalho que só pode ser efetuado com o equipamento parado, enquanto que o *setup* externo consiste em trabalho que pode ser realizado com o equipamento em funcionamento.

Os quatro estágios são em seguida esquematizados e brevemente explicitados:

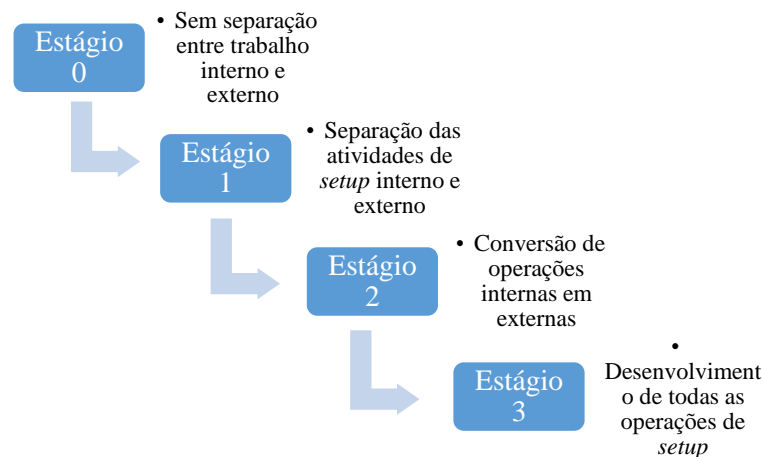


Figura 3: Esquema dos 4 estágios do Modelo

- **Estágio 0**

Nesta fase inicial ainda não existe a distinção entre trabalho interno e externo. É um estágio de observação e caracterização da situação inicial, passando pela identificação de todas as atividades da mudança de referências e a sua sequência, identificando os tempos necessários a cada atividade, as pessoas por ela responsáveis bem como os equipamentos a ela inerentes.

- **Estágio 1**

Esta fase passa pela distinção clara entre atividade internas e externas. Para tal, é necessário garantir que todo o trabalho externo é efetuado fora do período de paragem do equipamento, seja sob a forma de trabalho preparatório, seja após o *setup*.

- **Estágio 2**

Em seguida, o objetivo passa por converter as operações internas em externas.

- **Estágio 3**

Nesta última fase o objetivo é o desenvolvimento de todas as operações de *setup*, o que passa pela diminuição do tempo de operações externas, desenvolvendo soluções para realizar as diferentes tarefas de um modo rápido e seguro.

Aplicação da ferramenta SMED à linha em estudo

Estágio 0

Inicia-se a aplicação SMED no estágio 0 uma vez que, para esta linha de montagem nunca antes tinha sido feito uma análise do processo de *Changeover*. Assim, foi necessário clarificar todas as atividades inerentes a este processo.

No caso da linha em estudo, quando se altera o produto ou o modelo a ser produzido, é necessário fazer *changeover* do material abastecido na linha, do programa em algumas das

máquinas, *needle fixtures* (no caso das *MDA's* e dos *Flashes*) e, por vezes, dos carrinhos com conjuntos de *reels*.

No que diz respeito ao *changeover* de material que abastece a linha, as placas do produto ou modelo a entrar em produção são colocadas na primeira máquina do processo apenas quando todas as placas do produto “antigo” tenham sido processadas e o programa da máquina responsável pela colocação de *labels* tiver sido alterado.

Analogamente, no caso das alterações de programas que são feitas nas máquinas, é necessário que termine o processamento do produto “antigo” para que seja alterado o programa para o processamento do produto “novo”. De notar que, no caso dos fornos de SMD, esta troca de programas pode ser muito demorada uma vez que é necessário o forno arrefecer ou aquecer até atingir as temperaturas requeridas pelo programa. Outra situação em que isto ocorre é no forno de *Conformal Cure* em que o *inverter*, que não recebe o *conformal coating*, passa neste forno à temperatura ambiente, desta forma, quando se passa a produzir um dos produtos que tenha *conformal coating* o forno tem que aquecer até atingir a temperatura exigida. Da mesma forma, quando se altera a produção para um modelo *inverter* o forno tem que arrefecer, processo que, como é possível verificar pela análise de tempos, apresentada numa seção posterior, pode ser bastante demorado.

Ainda nos modelos que necessitam de *conformal cure* outra alteração deve ser realizada num *Changeover*: limpeza das máquinas responsáveis pela colocação de *conformal cure*, isto é, das TCM do lado *top* e do lado *bottom*, no momento em que um destes modelos será produzido, sendo que no fim da sua produção não é necessária esta limpeza.

As alterações nos *MDA's* e nos *Flash* são realizadas em todos os modelos uma vez que, como referido, os *MDA's* são responsáveis pelos testes eletrónicos às placas e os *Flash* pelos carregamentos de *software* nas placas, o que implica que sejam os adequados para cada tipo de modelo. Tal como é possível verificar pela planta da linha disponível em anexo, existe uma parte da linha em paralelo, que possui, em cada uma das linhas em paralelo, um *MDA* e um *Flash*. Assim, no caso de a alteração se destinar a um modelo de *NGI* ou de *Upper Display*, as alterações são realizadas nas duas máquinas de *MDA* e nas duas de *Flash* que se encontram em paralelo. Se por outro lado a alteração é para um dos modelos de *inverter*, só é feita a alteração numa das linhas uma vez que só existem *needle fixtures* para este produto para uma linha. De referir ainda que esta alteração é realizada apenas por um técnico sendo a reparadora responsável por o chamar no momento em que o “novo produto” passa pela máquina CEN 21.

Finalmente, relativamente aos carrinhos com conjuntos de *feeders* deverão ser trocados apenas quando uma das seguintes situações ocorre:

- Está a ser produzido NGIs ou *Upper Displays* e pretende-se produzir *inverter*;
- Está a ser produzido *inverter* e pretende-se produzir NGIs ou *Upper Displays*.

Isto acontece porque, para se produzir o *Inverter*, é necessário dispor do conjunto de *reels* indicado para o *inverter*, em cada uma das máquinas SMD do lado *top*. Caso se pretenda produzir um dos modelos de NGI ou de *Upper Display*, nas primeiras duas máquinas do lado *top*, são necessários cinco carrinhos para cada máquina de SMD, e um carrinho para a terceira máquina de SMD do lado *top*. Em conclusão, os *changeovers* relativos aos carrinhos com conjuntos de *reels* passam por alterar um carrinho em cada uma das três máquinas de SMD do lado *top*.

Ainda relativamente às máquinas SMD, sempre que existe um *changeover* tem que ser selecionado o programa correto na máquina (quer haja ou não troca de carrinhos). Este pode ser feito de forma automática para alguns casos sem que se tenha que esperar que a máquina esteja vazia para entrarem as novas placas. Tal só é possível caso o operador realize o “*Changeover* automático” na máquina, ou seja: para placas do mesmo tamanho, isto é, para placas do mesmo modelo, o operador seleciona o programa enquanto o produto anterior ainda está a ser produzido. É importante referir que esta forma de *Changeover* permite uma enorme poupança de tempo para os *Changeovers* entre modelos e não entre produtos, no entanto, só alguns dos operadores da linha o realizam e as que não realizam referem que esta forma é mais complicada e não acrescenta valor. Assim, é essencial alinhar todos os operadores no sentido de explicar os benefícios deste *Changeover* e os momentos em que deve ser adotado, em detrimento do *Changeover* tido como normal.

Uma vez que as alterações necessárias dependem das referências a serem produzidas, na tabela 1 apresenta-se, para cada atividade considerada, o tipo de mudança de *setup* em que são realizadas e o trabalhador por ela responsável.

Tabela 1: Mudanças de setup para as diferentes referências e os trabalhadores por elas responsáveis

Atividade	Modelo Inverter para Modelo NGI	Modelo Inverter para Modelo Upper Display	Modelo Inverter para Modelo Inverter	Modelo NGI para Modelo Inverter	Modelo NGI para Modelo Upper Display	Modelo NGI para Modelo NGI	Modelo Upper Display para Inverter	Modelo Upper Display para Modelo NGI	Trabalhador responsável
Alteração de placas na dispensadora									
Identificação do local das placas no armário, através do sistema	X	X	X	X	X	X	X	X	Operador 1
Colocação das placas na dispensadora	X	X	X	X	X	X	X	X	Operador 1
Alteração de labels									
Identificação do rolo e recolha do mesmo do armário	X	X	X	X	X	X	X	X	Operador 1
Colocação do novo rolo	X	X	X	X	X	X	X	X	Operador 1

Tabela 1: Mudanças de setup para as diferentes referências e os trabalhadores por elas responsáveis (continuação)

Atividade	Modelo Inverter para Modelo NGI	Modelo Inverter para Modelo Upper Display	Modelo Inverter para Modelo Inverter	Modelo NGI para Modelo Inverter	Modelo NGI para Modelo Upper Display	Modelo NGI para Modelo NGI	Modelo Upper Display para Inverter	Modelo Upper Display para Modelo NGI	Trabalhador responsável
Seleção do programa e verificação	X	X	X	X	X	X	X	X	Operador 1
Alterações na MPM1 e na SPI1									
Recolha do novo <i>stencil</i> do armário de <i>stencils</i>	X	X		X	X		X	X	Operador 1
Limpeza superficial do <i>stencil</i>	X	X		X	X		X	X	Operador 1
Colocação do novo <i>stencil</i> e alteração simultânea dos programas das máquinas MPM e SPI	X	X		X	X		X	X	Operador 1
Limpeza superficial do <i>stencil</i> anterior	X	X		X	X		X	X	Operador 1
Colocação do <i>stencil</i> a lavar	X	X		X	X		X	X	Operador 1
Recolha do <i>stencil</i> lavado	X	X		X	X		X	X	Operador 1
Alteração nas máquinas de SMD									
Empurrar carrinhos até meio da linha	X	X		X			X		Operador 2
Troca do carrinho da SMD 1	X	X		X			X		Operador 1
Troca do programa da SMD 1	X	X	X	X	X	X	X	X	Operador 1
Troca do carrinho da SMD 2	X	X		X			X		Operador 2
Troca do programa da SMD 2	X	X	X	X	X	X	X	X	Operador 2
Troca do carrinho da SMD 3	X	X		X			X		Operador 2
Troca do programa da SMD 3	X	X	X	X	X	X	X	X	Operador 2
Colocar carrinhos que deixam de ser utilizados novamente fora da linha	X	X		X			X		Operador 2
Alterações no forno 1									
Alterações e espera para aquecimento/arrefecimento do forno	X	X		X	X		X	X	Operador 2
Alterações na MPM2 e na SPI2									
Recolha do novo <i>stencil</i> do armário de <i>stencils</i>	X	X		X	X		X	X	Operador 3
Limpeza superficial do <i>stencil</i>	X	X		X	X		X	X	Operador 3
Recolha da base do armário das bases	X	X		X	X		X	X	Operador 3
Colocação do novo <i>stencil</i> e alteração simultânea dos programas das máquinas MPM e SPI	X	X		X	X		X	X	Operador 3
Limpeza superficial do <i>stencil</i> anterior	X	X		X	X		X	X	Operador 3
Arrumação da base anterior	X	X		X	X		X	X	Operador 3
Colocação do <i>stencil</i> a lavar	X	X		X	X		X	X	Operador 3
Recolha do <i>stencil</i> lavado	X	X		X	X		X	X	Operador 3

Tabela 1: Mudanças de setup para as diferentes referências e os trabalhadores por elas responsáveis (continuação)

Atividade	Modelo Inverter para Modelo NGI	Modelo Inverter para Modelo Upper Display	Modelo Inverter para Modelo Inverter	Modelo NGI para Modelo Inverter	Modelo NGI para Modelo Upper Display	Modelo NGI para Modelo NGI	Modelo Upper Display para Inverter	Modelo Upper Display para Modelo NGI	Trabalhador responsável
Alteração nas máquinas de SMD									
Troca do programa da SMD 1	X	X	X	X	X	X	X	X	Operador 3
Troca do programa da SMD 2	X	X	X	X	X	X	X	X	Operador 4
Troca do programa da SMD 3	X	X	X	X	X	X	X	X	Operador 4
Troca do programa da SMD 4	X	X	X	X	X	X	X	X	Operador 4
Alterações no forno 2									
Alterações e espera para aquecimento/arrefecimento do forno	X	X		X	X	X	X	X	Operador 4
Alterações na máquina CEN 21									
Alteração "passagem" para "corte" ou "corte" para "passagem"	X			X	X	X		X	Operador 1
Alterações na máquina FLP 50									
Alteração "passagem" para "flip" ou "flip" para "passagem"	X	X		X	X		X		Operador 1
Telefonema para técnico para MDA e Flash	X	X	X	X	X	X	X	X	Reparadora
Alteração na MDA									
Recolha das <i>needles fixtures</i> dos armários de <i>needles fixtures</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	Técnico
Colocação das <i>needles fixtures</i> e alteração do programa	X	X	X	X	X	X	X	X	Técnico
Arrumação de <i>needles fixtures</i> anteriores	X	X	X	X	X	X	X	X	Técnico
Alteração na Flash									
Recolha das <i>needles fixtures</i> dos armários de <i>needles fixtures</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	Técnico
Colocação das <i>needles fixtures</i> e alteração do programa	X	X	X	X	X	X	X	X	Técnico
Arrumação de <i>needles fixtures</i> anteriores	X	X	X	X	X	X	X	X	Técnico
Aceitação de <i>Changeover</i> automático no ecrã antes do <i>Conformal</i>	X	X	X	X	X	X	X	X	Operador 5
Alterações nas máquinas TCM									
Telefonema para técnico para limpeza dos dispensadores de <i>conformal</i>	X	X			X	X		X	Reparadora
Abertura das máquinas TCM para limpeza dos dispensadores de <i>conformal</i>	X	X			X	X		X	Técnico
Alteração da TCM 1 para passagem				X			X		
Alteração da TCM 2 para passagem				X			X		

Tabela 1: Mudanças de setup para as diferentes referências e os trabalhadores por elas responsáveis (continuação)

Atividade	Modelo Inverter para Modelo NGI	Modelo Inverter para Modelo Upper Display	Modelo Inverter para Modelo Inverter	Modelo NGI para Modelo Inverter	Modelo NGI para Modelo Upper Display	Modelo NGI para Modelo NGI	Modelo Upper Display para Inverter	Modelo Upper Display para Modelo NGI	Trabalhador responsável
Alteração do programa da TCM 1	X	X			X	X		X	Operador 5
Alteração do programa da TCM 2	X	X			X	X		X	Operador 5
Alteração no forno de Conformal									
Alteração "passagem" para "ligado" ou "ligado" para "passagem" e espera para aquecimento ou arrefecimento	X	X		X		X	X		Operador 5
Alteração do robô singulador									
Alteração do programa	X	X	X	X	X	X	X	X	Operador 5
Alteração das garras	X	X	X	X	X	X	X	X	Robô

Explicitada a operação de *changeover*, considerou-se importante conhecer o verdadeiro impacto na linha de montagem, através de um estudo de tempos. Para tal, preparou-se uma folha de cronometragem com as principais atividades inerentes ao *changeover* e realizaram-se trinta medições para cada atividade. Seguindo a ótica de Dilworth (1989), para conhecer o tamanho aceitável da amostra é necessário seguir a seguinte equação:

$$n = \left(\frac{Z \times \bar{S}}{A \times \bar{x}} \right)^2$$

Para este cálculo considera-se uma distribuição normal para os tempos de produção observados em que n representa o número de observações necessárias, A o erro a assumir, Z o intervalo de confiança considerado, \bar{S} o desvio padrão estimado e \bar{x} o valor médio dos tempos recolhidos.

Em primeiro lugar recolhem-se trinta medições, com as trinta medições realizadas, verifica-se se, para cada atividade, o tamanho da amostra é o suficiente para garantir um intervalo de confiança de 95% e um erro de 15%, que se considerou pertinente já que esta atividade lhe tem associada elevada variabilidade por ser realizada por operadores que, embora experientes, rodam entre si as suas posições pelo que não seguem sempre o mesmo papel em todos os *changeovers* realizados na linha. Para além disso, grande parte das operações de *changeover* são manuais ou têm uma forte intervenção humana.

Com as atividades devidamente explicitadas para cada tipo de mudança de *setup*, bem como identificadas as partes intervenientes em todo o processo de *Changeover*, apresenta-se em Anexo

D.1 uma tabela (tabela D 1) com o tempo médio observado para a realização de cada uma das atividades mencionadas.

Concluindo o estágio 0, apresenta-se a tabela 2 que representa apenas o somatório de todos os tempos de *setup* iniciais, uma vez que nesta fase ainda não existe a distinção entre atividades internas e externas.

Tabela 2: Tempos Médios Observados no Estágio 0

Tempos Médios Observados no Estágio 0							
	NGI-NGI	NGI-upper ou upper-NGI	Inverter-inverter	Inverter-NGI	Inverter-UPPER	Upper-inverter	NGI-inverter
Tempo total de <i>Setup</i>	4918,38	5228.32	2754.76	6332.06	6322.80	6926.92	5142.25
	Segundos	Segundos	Segundos	Segundos	Segundos	Segundos	Segundos
	01:22:58	01:27:08	00:46:56	01:45:38	01:45:38	01:55:47	01:25:50
<i>Setup</i> Interno							
<i>Setup</i> Externo							
<i>Setup</i> Externo (Pré- <i>setup</i>)							
<i>Setup</i> Externo (Pós- <i>setup</i>)							

Estágio 1

Como já foi referido anteriormente, o Estágio 1 é uma evolução do Estágio 0, à qual se retiram todas as operações externas que são realizadas na mudança de referência em produção, considerando operações externas todas aquelas em que não seja imperativo realizá-las com o equipamento parado. Assim, com base na Tabela D.2: Tempos Médios Observados no estágio 0, apresenta-se a tabela 3 com a divisão inicial de atividades internas e atividades externas.

Tabela 3: Classificação inicial de atividades internas e externas

Atividades Internas iniciais	Atividades Externas iniciais
Colocação das placas na dispensadora	Identificação do local das placas no armário, através do sistema
<u>Identificação do rolo e recolha do mesmo do armário</u>	Recolha do novo stencil do armário de stencils
Colocação do novo rolo	Limpeza superficial do stencil
Seleção do programa e verificação	Limpeza superficial do stencil anterior
Colocação do novo <i>stencil</i> e alteração simultânea dos programas das máquinas MPM e SPI	Colocação do stencil a lavar
Empurrar carrinhos até meio da linha	Recolha do stencil lavado
Troca do carrinho da SMD 1	Recolha do novo stencil do armário de stencils
Troca do programa da SMD 1	Limpeza superficial do stencil

Tabela 3: Classificação inicial de atividades internas e externas (continuação)

Atividades Internas iniciais	Atividades Externas iniciais
Troca do carrinho da SMD 2	Limpeza superficial do stencil anterior
Troca do programa da SMD 2	Colocação do stencil a lavar
Troca do carrinho da SMD 3	Recolha do stencil lavado
Troca do programa da SMD 3	Telefonema para técnico para MDA e Flash e espera para chegada
<u>Colocar carrinhos que deixam de ser utilizados novamente fora da linha</u>	Telefonema para técnico para limpeza dos dispensadores de conformal e espera
Alterações e espera para aquecimento/arrefecimento do forno	
<u>Recolha da base do armário das bases</u>	
Colocação do novo <i>stencil</i> e alteração simultânea dos programas das máquinas MPM e SPI	
<u>Arrumação da base anterior</u>	
Troca do programa da SMD 1	
Troca do programa da SMD 2	
Troca do programa da SMD 3	
Troca do programa da SMD 4	
Alterações e espera para aquecimento/arrefecimento do forno	
Alterações na máquina CEN 21	
Alteração "passagem" para "corte" ou "corte" para "passagem"	
Alterações na máquina FLP 50	
Alteração "passagem" para " <i>flip</i> " ou " <i>flip</i> " para "passagem"	
<u>Recolha das <i>needles fixtures</i> para MDA dos armários de <i>needles fixtures</i></u>	
Colocação das <i>needles fixtures</i> e alteração do programa	
<u>Arrumação de <i>needles fixtures</i> para MDA anteriores</u>	
<u>Recolha das <i>needles fixtures</i> para Flash dos armários de <i>needles fixtures</i></u>	
Colocação das <i>needles fixtures</i> e alteração do programa	
<u>Arrumação de <i>needles fixtures</i> para Flash anteriores</u>	
Aceitação de <i>Changeover</i> automático no ecrã antes do <i>Conformal</i>	
Abertura das máquinas TCM para limpeza dos dispensadores de <i>conformal</i>	

Tabela 3: Classificação inicial de atividades internas e externas (continuação)

Atividades Internas iniciais	Atividades Externas iniciais
Alteração da TCM 1 para passagem	
Alteração da TCM 2 para passagem	
Alteração do programa da TCM 1	
Alteração do programa da TCM 2	
Alteração "ligado" para "passagem" e espera para arrefecimento (mais lento)	
Alteração "passagem" para "ligado" e espera para aquecimento (mais rápido)	
Alteração do programa do robô singulador	
Alteração das garras do robô singulador	

De notar que existem algumas atividades que estariam a ser realizadas enquanto as máquinas estão paradas e que, no entanto, são possíveis de realizar como atividades externas, realizando apenas pequenas alterações. Estas atividades estão sublinhadas na tabela 3.

Tabela 4: Transformação de atividades internas em atividades externas

Atividade	Tipo de Atividade	Estado Atual	Proposta
Identificação do rolo e recolha do mesmo do armário	○	Por vezes, os operadores abrem primeiro a máquina e só depois identificam e retiram o rolo de <i>labels</i> correto	1. Operador verifica na folha de <i>Schedule</i> o modelo a ser produzido; 2. Operador dirige-se ao armário dos rolos de <i>labels</i> e verifica a sua localização; 3. Retirar rolo do armário; 4. Abrir máquina e iniciar troca.
Colocar carrinhos que deixam de ser utilizados novamente fora da linha	⇒	As atividades de colocação dos carrinhos no meio da linha e devolução dos antigos ao local próprio, fora da linha, interrompem frequentemente a produção uma vez que, para colocar ou retirar os carrinhos da linha, é necessário levantar o <i>conveyor</i> antes do forno, interrompendo a passagem de peças da máquina SMD 3 do lado <i>top</i> para o forno. A atividade de colocação dos carrinhos no meio da linha não pode ser feita noutra altura (pelo que será considerada Atividade Interna).	1. A devolução dos carrinhos que não serão utilizados para a produção do novo modelo deve ser realizada apenas no momento em que o forno, já vazio, está a arrefecer, garantindo que não existe interrupção de produção para esta atividade.
Recolha da base do armário das bases	○	Por vezes, os operadores iniciam as alterações na MPM <i>bottom</i> e durante as mesmas recolhem e arrumam as bases.	1. No momento em que se prepara o <i>stencil</i> a base deve ser recolhida do armário das bases e colocada no apoio da bancada de <i>stencils</i> .
Arrumação da base anterior	△		1. Arrumar a base no momento em que a MPM é colocada a funcionar

Tabela 4: Transformação de atividades internas em atividades externas (continuação)

Atividade	Tipo de Atividade	Estado Atual	Proposta
Recolha das <i>needles fixtures</i> para MDA dos armários de <i>needles fixtures</i>	⇒	Por vezes, o técnico realiza viagens desnecessárias ao armário de <i>needles fixtures</i> por optar por recolher as mesmas apenas quando necessárias às trocas e arrumar as mesmas cada vez que as retira das máquinas MDA e Flash.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Técnico recolhe um carro de apoio que deverá encontrar-se ao lado dos armários de <i>needles fixtures</i>; 2. Técnico coloca as <i>needles fixtures</i> a utilizar no carro de apoio; 3. Técnico transporta <i>needles fixtures</i> a utilizar (no MDA e no Flash) até às máquinas em questão, com recurso ao carro de apoio 4. Realizar trocas necessárias (colocando as <i>needles fixtures</i> que deixam de ser utilizadas novamente no carro de apoio); 5. Já com as máquinas em funcionamento, transportar e arrumar <i>needles fixtures</i>. <p>Com esta alteração, não só se beneficia com a eliminação de quatro atividades internas e criação de atividades externas, como também se eliminam viagens desnecessárias ao armário de <i>needle fixtures</i> pelo Técnico, como é possível verificar pelos diagramas esparguete da situação atual e da situação futura nas figuras 3 e 4.</p>
Arrumação de <i>needles fixtures</i> para MDA anteriores	⇒		
Recolha das <i>needles fixtures</i> para Flash dos armários de <i>needles fixtures</i>	⇒		
Arrumação de <i>needles fixtures</i> para Flash anteriores	⇒		

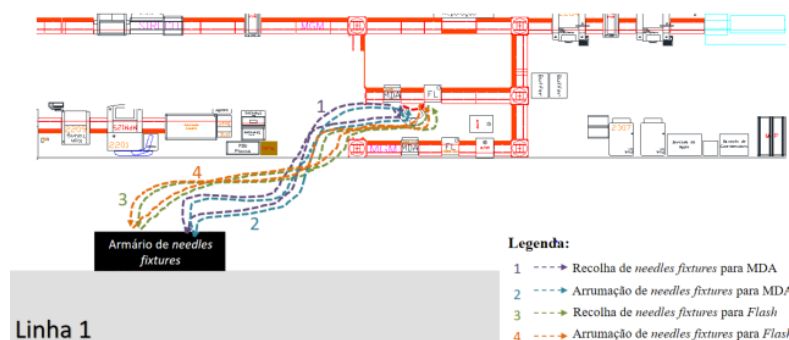


Figura 4: Diagrama esparguete da situação atual do transporte de needles fixtures

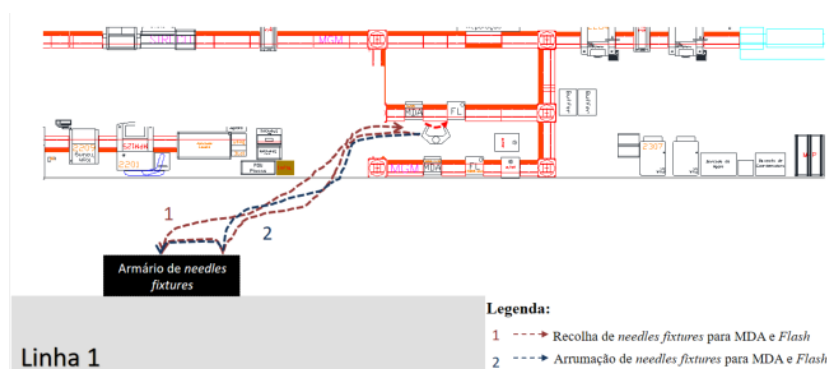


Figura 5: Diagrama esparguete da situação futura do transporte de needles fixtures

Assim, obtêm-se os quadros finais de classificação de atividades internas e externas no estágio 1, presentes em anexo nas tabelas “A.2: Tempos Médios Observados das atividades Internas no estágio 1” e “A.3: Tempos Médios Observados das atividades Externas no estágio 1”.

Concluindo o estágio 1 apresenta-se a tabela 5 que representa o somatório dos tempos de *setup* internos, externos e o total obtido nesta fase.

Tabela 5: Tempos Médios Obtidos no Estágio 1

Tempos Médios Observados no Estágio 1							
	NGI-NGI	NGI-upper ou upper-NGI	Inverter-inverter	Inverter-NGI	Inverter-UPPER	Upper-inverter	NGI-inverter
Tempo total de Setup	4918.38 Segundos	5228.32 Segundos	2754.76 Segundos	6332.06 Segundos	6322.80 Segundos	6926.92 Segundos	5142.25 Segundos
	01:22:58	01:27:08	00:46:56	01:45:38	01:45:38	01:55:47	01:25:50
Setup Interno	2156.64 Segundos	2484.07 Segundos	1023.96 Segundos	3474.13 Segundos	3464.86 Segundos	4068.99 Segundos	3297.76 Segundos
	00:35:56	00:41:24	00:16:46	00:57:54	00:57:44	01:07:32	00:54:41
Setup Externo	2761.74 Segundos	2761.47 Segundos	1748.02 Segundos	2875.16 Segundos	2875.16 Segundos	2875.16 Segundos	1861.71 Segundos
	00:46:02	00:46:01	00:29:08	00:47:55	00:47:55	00:47:55	00:31:18
Setup Externo (Pré-setup)	1790.41 Segundos	1790.41 Segundos	776.97 Segundos	1790.41 Segundos	1790.41 Segundos	1790.41 Segundos	776.97 Segundos
	00:29:50	00:29:50	00:12:56	00:29:50	00:29:50	00:29:50	00:12:56
Setup Externo (Pós-setup)	971.33 Segundos	971.05 Segundos	971.05 Segundos	1084.75 Segundos	1084.75 Segundos	1084.75 Segundos	1084.75 Segundos
	00:16:11	00:16:11	00:16:11	00:18:05	00:18:05	00:18:05	00:18:05

Estágio 2

Nesta fase, o objetivo é reduzir o tempo das atividades internas. Para tal, analisaram-se individualmente cada uma das 27 atividades internas e, através de diferentes mudanças em algumas destas atividades, foi possível reduzir de forma considerável o tempo total deste tipo de atividades. Em seguida, apresenta-se para cada atividade uma breve apresentação do estado atual e das propostas realizadas, bem como o tempo atual e o que se espera atingir com a concretização de cada uma das propostas.

Tabela 6: Análise e propostas para atividades internas


Atividade	Tempo Atual	Estado Atual	Tempo Futuro	Proposta
“Colocação do novo rolo de labels”	78,37 Segundos (atinge em média 109,21 segundos quando o problema descrito ocorre)	Descrição: Atividade que pode ser morosa, uma vez que, na colocação do rolo no suporte, este se desenrola antes de ser possível colocar a primeira <i>label</i> no gancho Consequência: operador tem que voltar a retirar o rolo do apoio, enrolar as <i>labels</i> novamente e recomeçar o processo, demorando cerca de 109,21 segundos, contrariamente aos 72,20 segundos, em que isto não acontece	72,20 Segundos	Utilização de uma mola, como a da figura, durante a colocação do novo rolo na máquina, permitindo que o rolo não se comece a desenrolar enquanto o operador coloca a primeira <i>label</i> no gancho. A mola é retirada no momento em que o gancho que segura a <i>label</i> a ser colocada é trancado. 

Tabela 6: Análise e propostas para atividades internas (continuação)


Atividade	Tempo Atual	Estado Atual	Tempo Futuro	Proposta
“Seleção do programa e verificação”	25,09 Segundos (atinge em média 41,93 segundos quando o problema descrito ocorre)	Descrição: A seleção do programa é feita num ecrã tátil pouco sensível, pelo operador. Uma vez que o operador deve utilizar sempre luvas, muitas vezes este tem que repetir o toque no ecrã inúmeras vezes até que este seja detetado Consequência: Originou picos de tempos observados durante a recolha de tempos de <i>Changeover</i>	16,95 Segundos	Utilização de uma caneta para ecrã tátil que deve ser colocada num suporte na máquina, tal como demonstrado na figura 
“Colocação do novo stencil e alteração simultânea dos programas das máquinas MPM e SPI”	236,72 Segundos (lado top)	Descrição: As operações realizadas nas MPM consomem muito tempo, uma vez que é necessário retirar o <i>stencil</i> anterior, passar a solda excedente do <i>stencil</i> anterior para o que será utilizado e colocar o novo <i>stencil</i> e, no caso da MPM <i>bottom</i> são também feitas alterações na base utilizada. Após as alterações realizadas, é necessário o Operador passar o código de barras do <i>stencil</i> , depois das lâminas em uso e, por fim, da base. O sistema obriga a que seja feito por esta ordem e que, antes de passar os códigos de barras das lâminas e da base em uso, o <i>stencil</i> seja trancado, e depois destrancado para que o operador possa alcançar com a pistola as lâminas e a base, sendo que esta se encontra em baixo do <i>stencil</i> num local de difícil acesso. A ideia de passar as lâminas e a base após o <i>stencil</i> deve-se a um <i>Poka-yoke</i> criado no sentido de não trocar a base a utilizar, já que para uma base pode existir mais do que um <i>stencil</i> e, ao passar primeiro o <i>stencil</i> e depois a base, garante-se que seja utilizada a base certa para o <i>stencil</i> em uso. Consequência: Processo complicado e moroso para o operador	211,72 Segundos	No caso da MPM do lado <i>top</i> , a base nunca é trocada para qualquer tipo de modelo em produção. Pelo que se pode propor que o programa seja alterado de modo a que a ordem de trabalho das atividades internas seja a seguinte: <ol style="list-style-type: none"> 1. Abertura da MPM <i>top</i>; 2. Retirar o <i>stencil</i> anteriormente utilizado e colocá-lo na parte inferior da máquina; 3. Passar o código de barras da base; 4. Passar o código de barras das duas lâminas; 5. Colocar o <i>stencil</i> que será utilizado no suporte da máquina; 6. Passar o código de barras do <i>stencil</i>; 7. Passar a restante pasta de solda do <i>stencil</i> anteriormente utilizado para o novo <i>stencil</i> e retirar o <i>stencil</i> antigo e colocá-lo no suporte para limpeza superficial; 8. Trancar o <i>stencil</i> e fechar a máquina. <p>Este processo, não só será mais simples e cómodo para o operador como será mais rápido uma vez que não haverá necessidade de trancar e destrancar o <i>stencil</i> para depois serem lidos os códigos das lâminas e da base que, com o <i>stencil</i> montado pode ser difícil. Espera-se que esta medida permita poupar 25 segundos à atividade interna “Colocação do novo <i>stencil</i> e alteração simultânea dos programas das máquinas MPM e SPI”.</p>

Tabela 6: Análise e propostas para atividades internas (continuação)

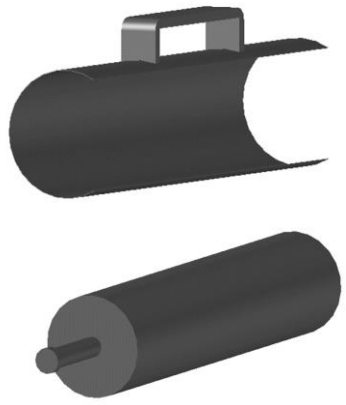
Atividade	Tempo Atual	Estado Atual	Tempo Futuro	Proposta
	236,72 Segundos (lado <i>top</i>) 266,18 Segundos (lado <i>bottom</i>)	<p>Descrição: Para a passagem da solda restante do <i>stencil</i> anteriormente utilizado para o que viria a ser utilizado atualmente é utilizada uma espátula de apenas 5 centímetros de largura, pelo que os operadores têm que passar várias vezes a espátula no <i>stencil</i> até que toda a pasta seja recolhida. Para além disso para colocar a pasta recolhida no novo <i>stencil</i>, devido à sua densidade, é difícil para o operador que a pasta descole totalmente da espátula.</p> <p>Consequência: Processo complicado e moroso para o operador.</p>	<p>204,72 Segundos (lado <i>top</i>)</p> <p>234,18 Segundos (lado <i>bottom</i>)</p> <p>Nota: Caso se aplique também a proposta anterior obtêm-se os seguintes tempos:</p> <p>179,72 Segundos (lado <i>top</i>)</p> <p>234,18 Segundos (lado <i>bottom</i>)</p>	<p>Desenhou-se uma espátula capaz de recolher, numa só passagem, todo o excesso de pasta de solda que fica no <i>stencil</i>, visível na figura. Nesta figura, é ainda possível ver a peça cilíndrica que deverá ser usada para empurrar a restante solda da espátula diretamente para o novo <i>stencil</i>.</p>  <p>Nota: Para o desenho destas peças, teve-se em conta a largura da lâmina da máquina que espalha a pasta, bem como a largura média do excesso de pasta a partir do fim da lâmina até ao máximo ponto de excesso de pasta de solda no <i>stencil</i>. Para tal, fez-se um levantamento da quantidade de pastas de solda em excesso nas duas máquinas que permitiu concluir que no máximo a pasta em excesso encontra-se distanciada de 37,5 centímetros. Assim, a espátula deve ter a largura de 39,5 centímetros, para garantir que toda a pasta é acumulada na espátula. No seu desenho teve-se ainda em conta que a peça deveria ser ergonomicamente confortável para o Operador pegar e que deve ser de material anti estático que, em reuniões com o departamento de Manufatura se concluiu que deverá ser utilizado o Poliacetal Condutivo.</p> <p>Acredita-se que esta medida pode fazer com que todas a atividade de passagem da pasta de um <i>stencil</i> para o outro pode passar a demorar apenas, em média, 10 segundos, contrariamente aos 42 segundos que esta atividade representava</p>
“Alteração “passagem” para “flip” ou “flip” para “passagem”	218,44 Segundos	<p>Descrição: máquina FLP 50 tinha um dos botões gastos (botão “Enter”)</p> <p>Consequência: Para trocar de <i>flip</i> para <i>pass through</i>, ou vice-versa, em vez de demorar no máximo cinco segundos, atingia valores de cinco minutos.</p>	5 Segundos	<p>Para contornar rapidamente a situação propôs-se que se trocasse esta máquina de <i>flip</i> com a FLP43, situada entre as duas máquinas de <i>conformal coating</i>, uma vez que nesta fase as placas fazem sempre o <i>flip</i>, pelo que não seria necessário utilizar os botões da máquina para a configurar.</p>

Tabela 6: Análise e propostas para atividades internas (continuação)

Atividade	Tempo Atual	Estado Atual	Tempo Futuro	Proposta
“Troca de carrinho 1”	44,79 Segundos	Descrição : A maior parte das vezes, o Operador tem que andar para a frente e para trás com o carrinho até que este esteja com as rodas perfeitamente alinhadas, uma vez que só assim se dá o encaixe do <i>trolley</i> nestas máquinas SMD. Consequência: Inúmeros <i>retries</i> até que haja um encaixe perfeito	34,99 Segundos	Aplicação de uns carris no chão, de tal forma que as rodas entrem de início a direito e que haja o encaixe perfeito. Esta medida permitirá reduzir 9,8 segundos (tempo médio total despendido em “ <i>retries</i> ” pelo operador a tentar que haja encaixe do carrinho na máquina). Para o desenho dos carris, teve-se em atenção a espessura das rodas dos carros, o peso médio dos carros (para a escolha da espessura e material a utilizar no carril), e o afastamento das rodas no carro (para saber a que distância estes devem ser posicionados um do outro). Assim, apresenta-se na Figura, o desenho em AutoCad dos DOIs carris.
“Troca de carrinho 2”	43,71 Segundos		33,91 Segundos	
“Troca de carrinho 3”	48,50 Segundos	Descrição sempre que é necessário trocar este carrinho, é necessário desmontar o suporte de <i>reels</i> de um carrinho para o outro. Consequência: Processo complicado e moroso para o operador.	42,50 Segundos	Existência de um suporte a mais para que seja feita apenas a troca de carrinhos sem que o Operador tenha que desmontar e montar o suporte no outro carrinho, representando uma poupança de em média 6 segundos para esta atividade.
“Empurrar carrinhos até meio da linha”	112,60 Segundos	Descrição: Como referido anteriormente, a atividade “Empurrar carrinhos até meio da linha” terá que ser considerada atividade interna pois muitas vezes obriga à paragem de entrada de peças no forno. Apenas o Operador 2 está responsável por esta tarefa. Consequência: Processo exigente para o operador 2 que tem que empurrar três carrinhos até meio da linha e moroso devido às viagens que tem que fazer.	38 Segundos	Propõe-se que os Operadores 3 e 4 sejam também incluídos nesta operação de modo a que os carrinhos possam ser trazidos até à linha em simultâneo. As figuras 5 e 6 representam os diagramas esparguete da situação atual e da situação futura, respetivamente

Tabela 6: Análise e propostas para atividades internas (continuação)

Atividade	Tempo Atual	Estado Atual	Tempo Futuro	Proposta
“Abertura das máquinas TCM para limpeza dos dispensadores de <i>conformal</i> ”	780,49 Segundos	Descrição: Num <i>Changeover</i> para qualquer modelo de NGI ou de <i>Upper Display</i> , os aplicadores de <i>Conformal</i> das duas máquinas TCM têm que ser limpos. Consequência: Processo muito demorado	240 Segundos (DOIs minutos para cada máquina)	Aquisição de DOIs aplicadores adicionais de modo a que o técnico tenha só que retirar os DOIs aplicadores de <i>Conformal</i> e substituí-los pelos DOIs que devem estar sempre limpos e preparados, seguindo a seguinte ordem de trabalho: 1. Abrir as duas máquinas e retirar os aplicadores utilizados, 2. Montar novos aplicadores já preparados 3. Colocar máquinas a funcionar 4. Já com as máquinas em funcionamento limpar os aplicadores anteriormente utilizados e armazená-los até nova alteração de <i>setup</i> .
“Escolha de programa das TCM 1 e TCM 2”	25,06 e 23,10 segundos para a TCM1 e TCM2	Descrição: Existência de mais do que DOIs programas para cada um dos modelos. Tal acontece porque foram carregados programas errados e não foram apagados. Consequência: verificou-se que os tempos médios observados vieram a aumentar até à última recolha	7 e 8 segundos para a TCM1 e TCM2	Devem ser apagados os programas que não são estritamente necessários, ficando apenas DOIs programas em cada pasta de cada modelo. Um para a utilização de uma cabeça e outro para a utilização de duas cabeças.
“Alteração “ligado” para “passagem” e espera para arrefecimento do forno de <i>conformal</i> ”	1142,82 Segundos	Descrição: No que diz respeito à alteração de <i>setup</i> do forno de <i>conformal</i> , de ligado para passagem passa pelo arrefecimento do mesmo de 85° C para a temperatura ambiente. Consequência: 20 minutos do tempo de <i>Changeover</i> .	120 Segundos	Depois de se estudar a solda utilizada em todo o processo concluiu-se que é utilizada uma solda <i>Lead Free</i> , isto é, sem chumbo. Em substituição do Chumbo utiliza-se uma liga composta por Estanho, Cobre e Prata, com um ponto de fusão de 230° C. A equipa da Qualidade referiu ainda que todos os produtos devem estar preparados para atingir temperaturas até 80° C. Ora, uma vez que o Forno de <i>Conformal</i> atinge no máximo 85° C, propõe-se que as placas de <i>inverter</i> passem pelo forno de <i>Conformal</i> assim que este atinge os 80°C, garantindo que isto não provoca qualquer tipo de danos na placa e que é eliminado este tempo sem qualquer valor acrescentado. Para saber a partir de que momento exato é possível colocar as placas em passagem, analisou-se o tempo de arrefecimento de 85°C para 25°C (temperatura ambiente) e calculou-se o tempo desde que se inicia a alteração do programa até que o forno atinge os 80°C, de onde se obteve no máximo 1 minuto e 40 segundos pelo que se propõe que passado 2 minutos de arrefecimento do forno se permita que as placas de <i>inverter</i> comecem a passar pelo forno.

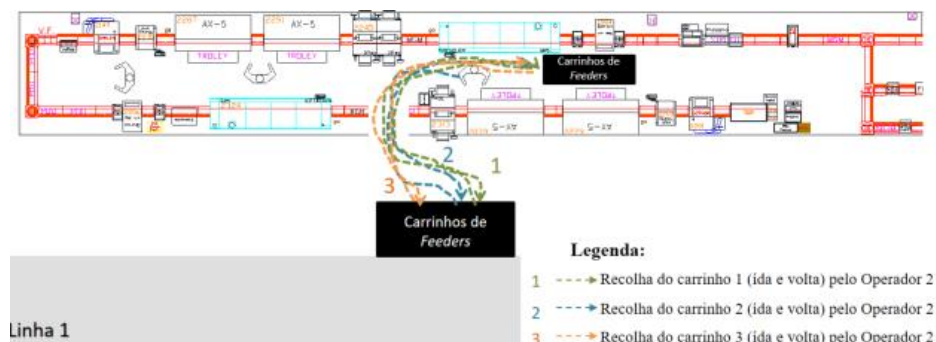


Figura 6: Recolha de carrinhos de feeders atualmente

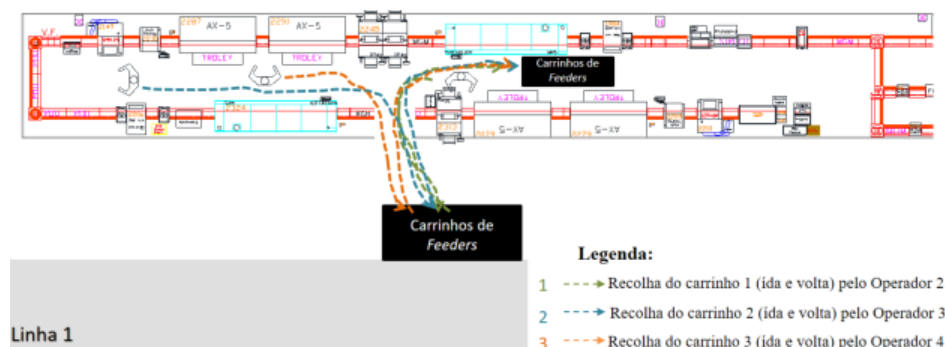


Figura 7: Recolha de carrinhos de feeders com a aplicação da proposta

Estudada cada uma das atividades internas individualmente, o passo seguinte foi rever a distribuição das mesmas pelos operadores. Assim, propõe-se a seguinte tabela 7 de atividades que compara o responsável por cada uma das atividades internas antes e depois da nova distribuição. Isto permitirá que algumas das atividades sejam realizadas em simultâneo tal como é possível observar pelos gráficos GANT disponíveis em Anexos_A.

Tabela 7: Distribuição de atividades internas pelos operadores

Atividades internas	Responsável antes da alteração	Responsável após a alteração	Legenda GANT
Colocação das placas na dispensadora	Operador 1	Operador 1	A
Colocação do novo rolo de <i>labels</i>	Operador 1	Operador 1	B
Seleção do programa da máquina de <i>labels</i> e verificação	Operador 1	Operador 1	C
Colocação do novo <i>stencil</i> e alteração simultânea dos programas das máquinas MPM e SPI	Operador 1	Operador 2	D
Empurrar carrinhos até meio da linha	Operador 2	Operador 1, 3 e 4	E
Troca do carrinho da SMD 1	Operador 1	Operador 1	F
Troca do programa da SMD 1	Operador 1	Operador 1	G
Troca do carrinho da SMD 2	Operador 2	Operador 2	H
Troca do programa da SMD 2	Operador 2	Operador 2	I
Troca do carrinho da SMD 3	Operador 2	Operador 2	J
Troca do programa da SMD 3	Operador 2	Operador 2	K
Alterações e espera para aquecimento/arrefecimento do forno	Operador 2	Operador 3	L
Colocação do novo <i>stencil</i> e alteração simultânea dos programas das máquinas MPM e SPI	Operador 3	Operador 3	M
Troca do programa da SMD 1	Operador 3	Operador 4	N
Troca do programa da SMD 2	Operador 4	Operador 4	O
Troca do programa da SMD 3	Operador 4	Operador 4	P

Tabela 7: Distribuição de atividades internas pelos operadores (continuação)

Atividades internas	Responsável antes da alteração	Responsável após a alteração	Legenda GANT
Troca do programa da SMD 4	Operador 4	Operador 4	Q
Alterações e espera para aquecimento/arrefecimento do forno	Operador 4	Operador 1	R
Alteração "passagem" para "corte" ou "corte" para "passagem"	Operador 1	Operador 1	S
Alteração "passagem" para "flip" ou "flip" para "passagem"	Operador 1	Operador 1	T
Colocação das <i>needles fixtures</i> e alteração do programa	Técnico	Técnico	U
Colocação das <i>needles fixtures</i> e alteração do programa	Técnico	Técnico	V
Aceitação de <i>Changeover</i> automático no ecrã antes do <i>Conformal</i>	Operador 5	Operador 5	W
Abertura das máquinas TCM para limpeza dos dispensadores de <i>conformal</i>	Técnico	Técnico	X
Alteração do programa da TCM 1 ou alteração para passagem	Operador 5	Operador 5	Y
Alteração do programa da TCM 2 ou alteração para passagem	Operador 5	Operador 5	Z
Alteração "passagem" para "ligado" ou "ligado" para "passagem" e espera para aquecimento ou arrefecimento do forno de <i>conformal</i>	Operador 5	Operador 5	AA
Alteração do programa	Operador 5	Operador 5	AB
Alteração das garras	Robô	Robô	AC

Em modo de conclusão do Estágio 2 apresenta-se a tabela 8 com os tempos de *setup* obtidos. Como esperado, obtém-se uma redução considerável do tempo de *setup* interno e, consequentemente, do tempo total de *setup*.

Tabela 8: Tempos Médios Obtidos no Estágio 2

Tempos Médios Observados no Estágio 2							
	NGI-NGI	NGI-upper ou upper-NGI	Inverter-inverter	Inverter-NGI	Inverter-UPPER	Upper-inverter	NGI-inverter
Tempo total de Setup	3863,28 Segundos	3863,28 Segundos	2467,79 Segundos	4304.81 Segundos	4295.55 Segundos	3907.8 Segundos	2903.61 Segundos
	01:04:23	01:04:23	00:41:08	01:11:44	01:11:35	01:05:08	00:48:23
Setup Interno	1101,81 Segundos	1101,81 Segundos	719,77 Segundos	1429.65 Segundos	1420.39 Segundos	1032.64 Segundos	1041.90 Segundos
	00:18:22	00:18:22	00:12:00	00:23:50	00:23:40	00:17:13	00:17:22
Setup Externo	2761.74 Segundos	2761.47 Segundos	1748.02 Segundos	2875.16 Segundos	2875.16 Segundos	2875.16 Segundos	1861.71 Segundos
	00:46:02	00:46:01	00:29:08	00:47:55	00:47:55	00:47:55	00:31:18
Setup Externo (Pré-setup)	1790.41 Segundos	1790.41 Segundos	776.97 Segundos	1790.41 Segundos	1790.41 Segundos	1790.41 Segundos	776.97 Segundos
	00:29:50	00:29:50	00:12:56	00:29:50	00:29:50	00:29:50	00:12:56
Setup Externo (Pós-setup)	971.33 Segundos	971.05 Segundos	971.05 Segundos	1084.75 Segundos	1084.75 Segundos	1084.75 Segundos	1084.75 Segundos
	00:16:11	00:16:11	00:16:11	00:18:05	00:18:05	00:18:05	00:18:05

Estágio 3

Tal como referido anteriormente, a solução 3 passa pelo desenvolvimento de todas as operações de *setup*, o que passa pela diminuição do tempo de operações externas. Para tal, seguindo a mesma abordagem adotada no estágio 2, tabelando todas as operações (tabelas 9, 10

e 11), agora operações externas, tomaram-se algumas medidas de modo a reduzir o tempo despendido para a sua realização.

Tabela 9: Análise e propostas para atividades externas

Atividade	Tempo Atual	Estado Atual	Tempo Futuro	Proposta
“Identificação do local das placas no armário através do sistema”	69,77 Segundos	Descrição: a <i>Schedule</i> tem a informação da quantidade de produto final necessário, isto é, depois de singulado da placa mãe. Assim, o operador, quando vai retirar as placas do armário tem que fazer as contas ao número de placas (tendo em conta o número de filhas em cada placa) e consequentemente ao número de pacotes (constituídos por 50 placas cada) a serem colocados no dispensador. Consequência: várias foram as vezes, durante o tempo de observação, em que um operador se enganou na contagem de pacotes de placas	63.70 Segundos (valor obtido pela média dos valores recolhidos em que não houve enganos).	Na <i>sechedule</i> deve ser também disponibilizado o número de placas total a retirar o armário, tornando o processo mais rápido e fácil para os operadores. Nota: Ainda relativamente às informações disponibilizadas verifica-se que só existe uma folha de <i>Schedule</i> na linha, assim, os operadores têm que perguntar uns aos outros o que será produzido em seguida, o que pode dar azo a erros. Assim, verifica-se a necessidade de duas folhas de <i>Schedule</i> adicionais a serem colocadas junto à MPM do lado <i>bottom</i> e junto ao robot de singulação.
“Recolha do novo stencil do armário de stencils do lado bottom”	28,13 Segundos	Descrição: armário com os <i>stencils</i> lavados e prontos para entrarem na MPM do lado <i>bottom</i> , encontra-se afastado da máquina Consequência: operador tem que percorrer um caminho que provoca um acréscimo de, aproximadamente, 20 segundos (num percurso de ida e volta) ao processo e exigindo também mais esforço por parte do mesmo já que este transporte é feito manualmente	8,13 Segundos	O armário deve ser colocado atrás do suporte de preparação de <i>stencils</i> , que se encontra à esquerda da MPI. Para tal, terá que ser alterado o desumidificador que se encontra nesta zona para o local do armário dos <i>stencils</i> . O diagrama esparguete da figura permite observar o percurso que o operador faz atualmente (a roxo) e o percurso que fará no futuro (a vermelho).

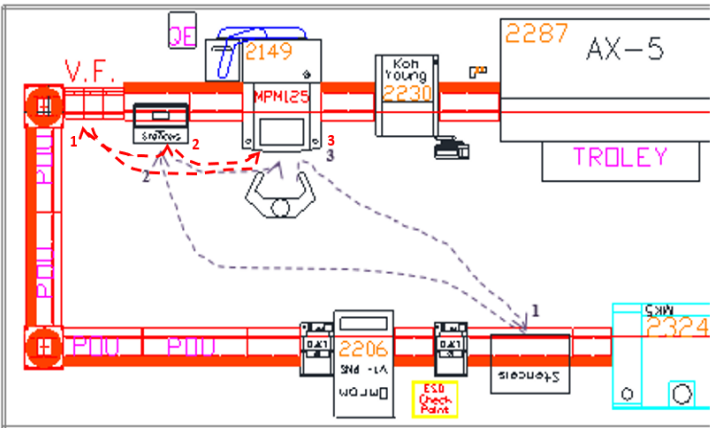


Figura 8: Diagrama esparguete da situação atual e futura da atividade de transporte "recolha do novo stencil"

Tabela 10: Tabela 9: Análise e propostas para atividades externas (continuação_1)

Atividade	Tempo Atual	Estado Atual	Tempo Futuro	Proposta
“Colocação do stencil a lavar” e “Recolha do stencil lavado” (lado top e bottom)	Colocação do stencil a lavar: 205,31 segundos e 225,93 segundos a partir do lado top e bottom Recolha do stencil lavado: 170,39 segundos e 213,20 segundos a partir do lado top e bottom	Descrição: Após ser utilizado e previamente lavado manualmente pelo operador, o <i>stencil</i> deve ir para uma máquina responsável pela sua lavagem final. Existem duas máquinas para este fim situadas fora da linha, na linha 10 da fábrica Consequência: operador tem que percorrer a fábrica para deixar o <i>stencil</i> na máquina e voltar a fazer o mesmo percurso para ir buscar o <i>stencil</i> lavado, perdendo aproximadamente 8 minutos com esta atividade	1 minuto e 17 segundos a partir da MPM do lado bottom 1 minuto e 8 segundos, a partir da MPM do lado top Adicionando ao tempo de colocação do <i>stencil</i> a lavar, que em média é de 38 segundos, obtém-se um tempo médio de 1 minuto e 55 segundos e 1 minuto e 46 segundos para o lado bottom e top respetivamente.	Proposta 1: um dos robots que traz os componentes ou que recolhe os resíduos faça uma rota para recolher, de todas as linhas, os <i>stencils</i> para lavar. Proposta 2: Enquanto não é possível arrancar o projeto dos robots para a recolha de <i>stencils</i> , sugere-se que uma das máquinas seja colocada a meio das linhas de <i>board prep</i> , como demonstrado na figura 8. Desta forma, a máquina colocada no novo local, na figura 8 representada como máquina 2, será utilizada pelas linhas 1 a 5 e 13 a 17. As restantes linhas deverão utilizar a máquina 1, correspondente à máquina localizada no sítio inicial. Esta figura representa ainda o diagrama esparguete com o percurso inicial a amarelo e o percurso final a verde, de ida e volta a partir da máquina do lado bottom.

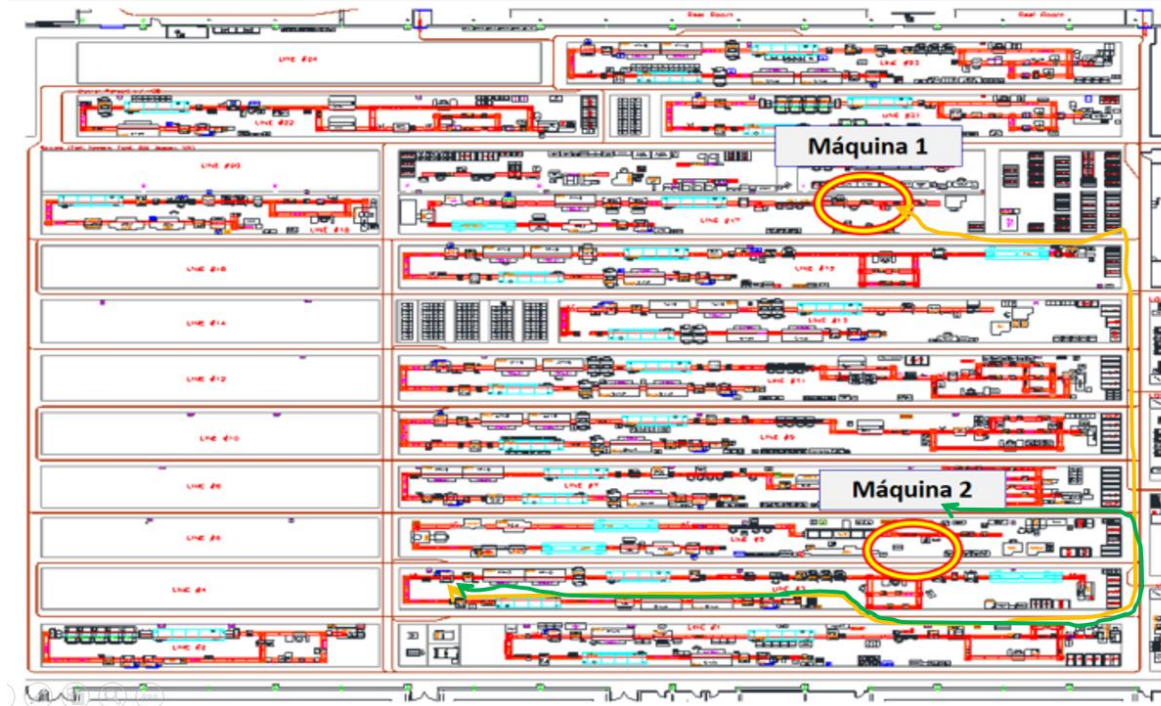


Figura 9: Proposta de localização de máquinas para lavagem de stencils e diagramas esparguete

Atividade	Tempo Atual	Estado Atual	Tempo Futuro	Proposta
“Recolha da base do armário das bases”	12,15 segundos	Descrição: A <i>label</i> a ser produzida não é visível e, uma vez que no <i>Overview</i> de equipamento também não se disponibiliza a <i>label</i> , a menos que o operador conheça de memória o PWB para cada <i>Label</i> , torna-se complicado identificar qual a base a retirar. Consequência: Atividade pode tornar-se demorada	4,15 segundos	No <i>Overview</i> de equipamento da MPM <i>bottom</i> , deve ser disponibilizada também a <i>label</i> e não apenas o modelo e a PWB. Devem ainda ser colocadas etiquetas com letras visíveis em cada prateleira do armário das bases com as respetivas <i>labels</i> possíveis para cada uma das bases.
“telefonema e espera por técnico” para a troca de <i>needle fixtures</i>	507,70 segundos	Descrição: De momento, apenas quatro técnicos assumem não só as responsabilidades de Changeover em estudo como também as de manutenção não planeada e, para algumas máquinas, manutenção planeada, para toda a área de <i>board prep</i> , com 15 linhas atualmente em funcionamento. Consequência: Atividade pode tornar-se demorada	207,70 segundos	Proposta 1: Contratação de três técnicos multidisciplinares, capazes de lidar com avarias e com o <i>changeover</i> de <i>needle fixtures</i> e de <i>conformal</i> . Isto permitirá que cada técnico passe a ter a seu cargo entre duas a três linhas e que seja dada uma resposta mais rápida na assistência Proposta 2: de modo a facilitar a escolha do técnico a chamar (de acordo com a sua disponibilidade e área de especialização), propõe-se a utilização de uma aplicação de manutenção em que, pelo computador presente em cada uma das linhas, seja possível o Operador verificar o número de operadores disponíveis para o problema em questão, o número da linha em que se encontram e, caso estejam ocupados, há quanto tempo se encontram na avaria em questão. Em reuniões com a área de sistemas, verificou-se que uma aplicação assim já estaria a ser pensada, mas ainda não entrou em vigor por falta de verbas para a aquisição de <i>Smart Phones</i> para os técnicos, que permitiria que estes abrissem e fechassem as avarias, respondam a chamadas de linhas e registem a descrição da avaria e da manutenção realizada. Nota: Estas propostas tiveram por base o estudo realizado entre os 1 de março e 2 de abril apresentado em seguida.
“telefonema e espera por técnico” para a limpeza de aplicadores de <i>conformal</i>	1013,45 segundos		713,45 segundos	

Realizou-se um estudo entre o dia 1 de março e 2 de abril, inclusive, relativamente à razão para as paragens da linha. Neste estudo, foi feito um levantamento relativamente às perdas por não qualidade, por degradação do tempo de ciclo, por paragens próprias e por paragens induzidas, de onde se obtém o gráfico da figura 9. Como é possível verificar pelo gráfico, as perdas por paragens próprias representam 6.30% do total de perdas. Assim, depois de um estudo aprofundado, constatou-se que o total de tempos de paragem por avaria, com assistência de um técnico, representou 1345 minutos durante os 22 dias de estudo. De onde se pode concluir que, em média, a linha está parada 1 hora por dia.

Olhando apenas para o primeiro turno, momento em que estão a funcionar as 15 linhas com apenas 4 técnicos, verifica-se que o tempo de paragens por avaria representa 845 minutos que, durante os 22 dias se traduz em 38 minutos e 40 segundos por dia para espera e assistência pelo técnico. Para um técnico que tem que dar assistência a 3 ou 4 linhas, torna-se impossível responder a todos os pedidos em tempo útil. Assim, propuseram-se as duas medidas já referidas com as quais se espera reduzir em pelo menos 5 minutos cada uma destas atividades.

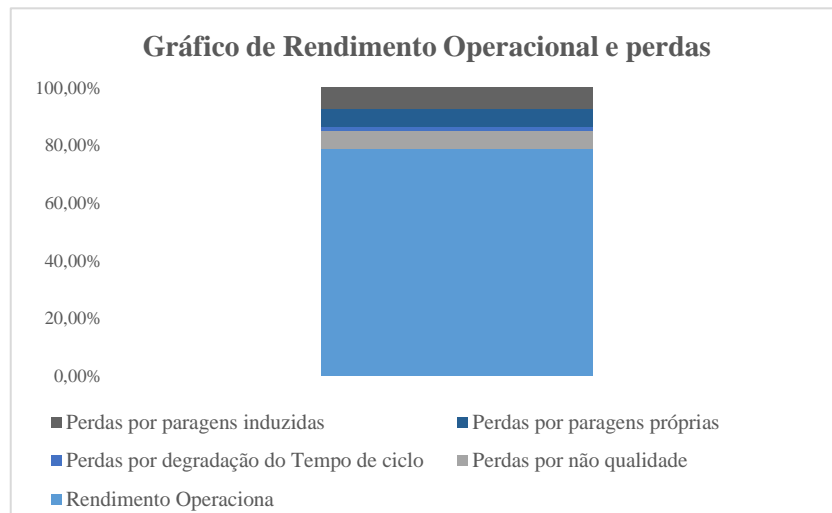


Figura 10: Gráfico de análise de perdas

Durante a observação e estudo de inúmeros *Changeovers*, verificou-se que um dos Operadores realizava uma operação externa adicional no que diz respeito à MPM do lado *bottom*, que consistia em fazer uma limpeza superficial à base a utilizar, para além da limpeza superficial obrigatória do *stencil*. Constatou-se que esta atividade não é necessária pelo que deve ser linear para todos os Operadores que não é necessária e que pode acrescentar tempo às atividades externas.

Concluindo o estágio 3, apresenta-se a tabela 11 com os tempos de *setup* obtidos, onde é possível observar a redução do tempo de *setup* externo conseguido e, consequentemente, do tempo total de *setup*.

Tabela 11: Tempos Médios Obtidos no Estágio 3

Tempos Médios Observados no Estágio 3							
	NGI-NGI	NGI-upper ou upper- NGI	Inverter- inverter	Inverter- NGI	Inverter- UPPER	Upper- inverter	NGI- inverter
Tempo total de <i>Setup</i>	2596.34 Segundos	2596.06 Segundos	1929.6 Segundos	2976.76 Segundos	2967.5 Segundos	2579.75 Segundos	2289.01 Segundos
	00:43:16	00:43:16	00:32:10	00:49:37	00:49:28	00:42:59	00:38:09
<i>Setup</i> Interno	1162.64 Segundos	1162.64 Segundos	796.18 Segundos	1429.65 Segundos	1420.39 Segundos	1032.64 Segundos	1041.90 Segundos
	00:19:23	00:19:23	00:13:16	00:23:50	00:23:40	00:17:13	00:17:22
<i>Setup</i> Externo	1433.70 Segundos	1433.42 Segundos	1133.42 Segundos	1547.11 Segundos	1547.11 Segundos	1547.11 Segundos	1247.11 Segundos
	00:23:53	00:23:53	00:18:53	00:25:47	00:25:47	00:25:47	00:20:47
<i>Setup</i> Externo (Pré- <i>setup</i>)	835.19 Segundos	835.19 Segundos	535.19 Segundos	835.19 Segundos	835.19 Segundos	835.19 Segundos	535.19 Segundos
	00:13:55	00:13:55	00:08:55	00:13:55	00:13:55	00:13:55	00:08:55
<i>Setup</i> Externo (Pós- <i>setup</i>)	598.50 Segundos	598.23 Segundos	598.23 Segundos	711.92 Segundos	711.92 Segundos	711.92 Segundos	711.92 Segundos
	00:09:59	00:09:58	00:09:58	00:11:52	00:11:52	00:11:52	00:11:52

Síntese de resultados obtidos com a aplicação da ferramenta SMED

Para melhor entender os resultados obtidos com a aplicação da ferramenta SMED disponibilizam-se o gráfico da figura 10, com a redução total de cada tempo de *setup*, e a tabela 12, que representa a melhoria do tempo de *setup* e o tempo de pré e pós *setup*, para cada *Changeover* possível, desde o Estágio 1 ao Estágio final 3.

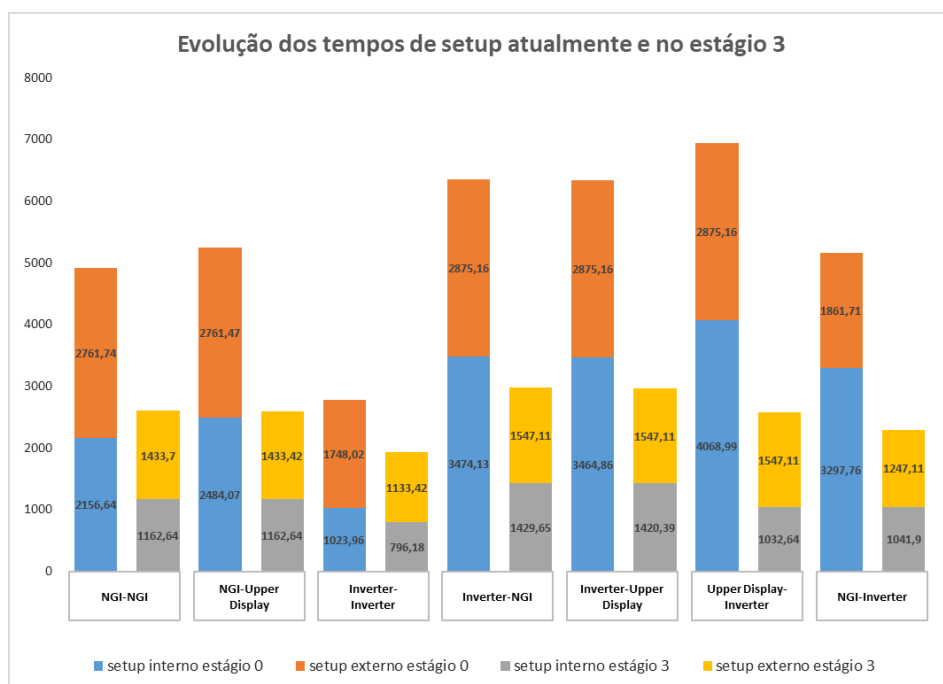
Figura 11: Evolução dos tempos totais de *setup*

Tabela 12: Evolução do estágio 1 ao estágio 3

Tempos Médios Obtidos nos Estágios 1 e 3							
	NGI-NGI	NGI-upper ou upper-NGI	Inverter-inverter	Inverter-NGI	Inverter-UPPER	Upper-inverter	NGI-inverter
Tempo total de <i>Setup</i> no estágio 1	01:22:58	01:27:08	00:46:56	01:45:38	01:45:38	01:55:47	01:25:50
Tempo total de <i>Setup</i> no estágio 3	00:43:16	00:43:16	00:32:10	00:49:37	00:49:28	00:42:59	00:38:09
Redução no tempo total de <i>Setup</i> conseguida	47.21%	50.35%	29.95%	52.99%	53.07%	62.76%	55.49%
Tempo total de <i>Setup</i> interno no estágio 1	00:35:56	00:41:24	00:16:46	00:57:54	00:57:44	01:07:32	00:54:41
Tempo total de <i>Setup</i> interno no estágio 3	00:19:23	00:19:23	00:13:16	00:23:50	00:23:40	00:17:13	00:17:22
Redução no tempo total de <i>Setup</i> interno conseguida	46.09%	53.20%	22.25%	58.85%	59.01%	74.62%	68.41%
Tempo total de <i>Setup</i> externo no estágio 1	00:46:02	00:46:01	00:29:08	00:47:55	00:47:55	00:47:55	00:31:18
Tempo total de <i>Setup</i> externo no estágio 3	00:23:53	00:23:53	00:18:53	00:25:47	00:25:47	00:25:47	00:20:47
Redução no tempo total de <i>Setup</i> externo conseguida	48.09%	48.09%	35.16%	46.19%	46.19%	46.19%	33.01%

De notar que após o alcance do patamar de melhoria desejado é necessário manter os resultados. Para isto, será necessária a criação de um modo operativo que deverá conter as atividades a realizar sequencialmente por cada um dos operadores, as ferramentas a elas necessárias e o tempo padrão necessário a cada uma destas atividades. Este documento servirá como guia de formação aos operadores e encontra-se disponível em anexo um exemplo para as mudanças de *setup* necessárias ao *Changeover Inverter* para NGI, tendo-se escolhido este por ser aquele que mesmo após as melhorias propostas representa o maior tempo de mudança de *setup*.

Por fim, propõe-se ainda um acompanhamento da atividade de *Changeover*, através de uma recolha de tempos mensal, que permitirá, não só, verificar que os resultados se mantêm, mas também poderá levar, numa ótica de melhoria contínua, a novas propostas e, consequentemente, melhores resultados.

Anexos_D.1

Tabela D.1: Tempos Médios Observados no estágio 0

Atividade	NGI-NGI	NGI-upper ou upper-NGI	Inverter-inverter	Inverter-NGI	Inverter-UPPER	Upper-inverter	NGI-inverter
Alteração de placas na dispensadora							
Identificação do local das placas no armário, através do sistema	69.77	69.77	69.77	69.77	69.77	69.77	69.77
Colocação das placas na dispensadora	16.04	16.04	16.04	16.04	16.04	16.04	16.04
Alteração de labels							
Identificação do rolo e recolha do mesmo do armário	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98
Colocação do novo rolo	78.37	78.37	78.37	78.37	78.37	78.37	78.37
Seleção do programa e verificação	25.09	25.09	25.09	25.09	25.09	25.09	25.09
Alterações na MPM1 e na SPI1							
Recolha do novo stencil do armário de <i>stencils</i>	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75
Limpeza superficial do <i>stencil</i>	35.68	35.68	35.68	35.68	35.68	35.68	35.68
Colocação do novo <i>stencil</i> e alteração simultânea dos programas das máquinas MPM e SPI	236.72	236.72	236.72	236.72	236.72	236.72	236.72
Limpeza superficial do <i>stencil</i> anterior	64.03	64.03	64.03	64.03	64.03	64.03	64.03
Colocação do <i>stencil</i> a lavar	205.31	205.31	205.31	205.31	205.31	205.31	205.31
Recolha do <i>stencil</i> lavado	170.39	170.39	170.39	170.39	170.39	170.39	170.39
Alteração nas máquinas de SMD							
Empurrar carrinhos até meio da linha				112.60	112.60	112.60	112.60
Troca do carrinho da SMD 1				44.79	44.79	44.79	44.79
Troca do programa da SMD 1	19.67	19.67	19.67	19.67	19.67	19.67	19.67
Troca do carrinho da SMD 2				43.71	43.71	43.71	43.71
Troca do programa da SMD 2	22.99	22.99	22.99	22.99	22.99	22.99	22.99
Troca do carrinho da SMD 3				48.50	48.50	48.50	48.50
Troca do programa da SMD 3	18.15	18.15	18.15	18.15	18.15	18.15	18.15
Colocar carrinhos que deixam de ser utilizados novamente fora da linha				113.69	113.69	113.69	113.69
Alterações no forno 1							
Alterações e espera para aquecimento/arrefecimento do forno		327.43		327.43	327.43	327.43	327.43
Alterações na MPM2 e na SPI2							
Recolha do novo stencil do armário de <i>stencils</i>	28.13	28.13	28.13	28.13	28.13	28.13	28.13
Limpeza superficial do <i>stencil</i>	38.04	38.04	38.04	38.04	38.04	38.04	38.04
Recolha da base do armário das bases	12.15	12.15	12.15	12.15	12.15	12.15	12.15
Colocação do novo <i>stencil</i> e alteração simultânea dos programas das máquinas MPM e SPI	266.18	266.18	266.18	266.18	266.18	266.18	266.18
Limpeza superficial do <i>stencil</i> anterior	49.49	49.49	49.49	49.49	49.49	49.49	49.49
Arrumação da base anterior	3.16	3.16	3.16	3.16	3.16	3.16	3.16
Colocação do <i>stencil</i> a lavar	225.93	225.93	225.93	225.93	225.93	225.93	225.93
Recolha do <i>stencil</i> lavado	213.20	213.20	213.20	213.20	213.20	213.20	213.20
Alteração nas máquinas de SMD							

Tabela D.1: Tempos Médios Observados no estágio 0 (continuação)

Atividade	NGI-NGI	NGI-upper ou upper-NGI	Inverter-inverter	Inverter-NGI	Inverter-UPPER	Upper-inverter	NGI-inverter
Alteração nas máquinas de SMD							
Troca do programa da SMD 1	19.38	19.38	19.38	19.38	19.38	19.38	19.38
Troca do programa da SMD 2	19.98	19.98	19.98	19.98	19.98	19.98	19.98
Troca do programa da SMD 3	15.94	15.94	15.94	15.94	15.94	15.94	15.94
Troca do programa da SMD 4	19.54	19.54	19.54	19.54	19.54	19.54	19.54
Alterações no forno 2							
Alterações e espera para aquecimento/arrefecimento do forno	312.00	312.00		312.00	312.00	312.00	312.00
Alterações na máquina CEN 21							
Alteração "passagem" para "corte" ou "corte" para "passagem"	9.26	9.26		9.26			9.26
Alterações na máquina FLP 50							
Alteração "passagem" para "flip" ou "flip" para "passagem"				218.44	218.44	218.44	218.44
Telefonema para técnico para MDA e Flash e espera para chegada	507.70	507.70	507.70	507.70	507.70	507.70	507.70
Alteração na MDA							
Recolha das <i>needles fixtures</i> dos armários de <i>needles fixtures</i>	35.60	35.60	35.60	35.60	35.60	35.60	35.60
Colocação das <i>needles fixtures</i> e alteração do programa	123.37	123.37	123.37	123.37	123.37	123.37	123.37
Arrumação de <i>needles fixtures</i> anteriores	20.23	19.95	19.95	19.95	19.95	19.95	19.95
Alteração na Flash							
Recolha das <i>needles fixtures</i> dos armários de <i>needles fixtures</i>	34.17	34.17	34.17	34.17	34.17	34.17	34.17
Colocação das <i>needles fixtures</i> e alteração do programa	82.69	82.69	82.69	82.69	82.69	82.69	82.69
Arrumação de <i>needles fixtures</i> anteriores	19.59	19.59	19.59	19.59	19.59	19.59	19.59
Aceitação de <i>Changeover</i> automático no ecrã antes do <i>Conformal</i>	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90
Alterações nas máquinas TCM							
Telefonema para técnico para limpeza dos dispensadores de <i>conformal</i> e espera	1013.45	1013.45		1013.45	1013.45	1013.45	
Abertura das máquinas TCM para limpeza dos dispensadores de <i>conformal</i>	780.49	780.49		780.49	780.49	780.49	
Alteração da TCM 1 para passagem						6.82	6.82
Alteração da TCM 2 para passagem						7.44	7.44
Alteração do programa da TCM 1	25.06	25.06		25.06	25.06		
Alteração do programa da TCM 2	23.10	23.10		23.10	23.10		
Alteração no forno de <i>Conformal</i>							
Alteração "ligado" para "passagem" e espera para arrefecimento (mais lento)						1142.82	1142.82
Alteração "passagem" para "ligado" e espera para aquecimento (mais rápido)				522.01	522.01		
Alteração do robô singulador							
Alteração do programa	7.10	7.10	7.10	7.10	7.10	7.10	7.10
Alteração das garras	32.63	32.63	32.63	32.63	32.63	32.63	32.63

Tabela A.2: Tempos Médios Observados das Atividades Internas Finais no estágio 1

Atividades Internas Finais	NGI-NGI	NGI-upper ou upper-NGI	Inverter-inverter	Inverter-NGI	Inverter-upper	Upper-inverter	NGI-Inverter
Alteração de placas na dispensadora							
Colocação das placas na dispensadora	16.04	16.04	16.04	16.04	16.04	16.04	16.04
Alteração de labels							
Colocação do novo rolo	78.37	78.37	78.37	78.37	78.37	78.37	78.37
Seleção do programa e verificação	25.09	25.09	25.09	25.09	25.09	25.09	25.09
Alterações na MPM1 e na SPI1							
Colocação do novo stencil e alteração simultânea dos programas das máquinas MPM e SPI	236.72	236.72	236.72	236.72	236.72	236.72	236.72
Alteração nas máquinas de SMD							
Empurrar carrinhos até meio da linha				112.60	112.60	112.60	112.60
Troca do carrinho da SMD 1				44.79	44.79	44.79	44.79
Troca do programa da SMD 1	19.67	19.67	19.67	19.67	19.67	19.67	19.67
Troca do carrinho da SMD 2				43.71	43.71	43.71	43.71
Troca do programa da SMD 2	22.99	22.99	22.99	22.99	22.99	22.99	22.99
Troca do carrinho da SMD 3				48.50	48.50	48.50	48.50
Troca do programa da SMD 3	18.15	18.15	18.15	18.15	18.15	18.15	18.15
Alterações no forno 1							
Alterações e espera para aquecimento/arrefecimento do forno		327.43		327.43	327.43	327.43	327.43
Alterações na MPM2 e na SPI2							
Colocação do novo stencil e alteração simultânea dos programas das máquinas MPM e SPI	266.18	266.18	266.18	266.18	266.18	266.18	266.18
Alteração nas máquinas de SMD							
Troca do programa da SMD 1	19.38	19.38	19.38	19.38	19.38	19.38	19.38
Troca do programa da SMD 2	19.98	19.98	19.98	19.98	19.98	19.98	19.98
Troca do programa da SMD 3	15.94	15.94	15.94	15.94	15.94	15.94	15.94
Troca do programa da SMD 4	19.54	19.54	19.54	19.54	19.54	19.54	19.54
Alterações no forno 2							
Alterações e espera para aquecimento/arrefecimento do forno	312.00	312.00		312.00	312.00	312.00	312.00
Alterações na máquina CEN 21							
Alteração "passagem" para "corte" ou "corte" para "passagem"	9.26	9.26		9.26			9.26
Alterações na máquina FLP 50							
Alteração "passagem" para "flip" ou "flip" para "passagem"				218.44	218.44	218.44	218.44
Alteração na MDA							
Colocação das needles fixtures e alteração do programa	123.37	123.37	123.37	123.37	123.37	123.37	123.37
Alteração na Flash							
Colocação das needles fixtures e alteração do programa	82.69	82.69	82.69	82.69	82.69	82.69	82.69
Aceitação de Changeover automático no ecrã antes do Conformal	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90

Tabela A.2: Tempos Médios Observados das Atividades Internas Finais no estágio 1 (continuação)

Atividades Internas Finais	NGI-NGI	NGI-upper ou upper-NGI	Inverter-inverter	Inverter-NGI	Inverter-upper	Upper-inverter	NGI-Inverter
Alterações nas máquinas TCM							
Abertura das máquinas TCM para limpeza dos dispensadores de conformal	780.49	780.49		780.49	780.49	780.49	
Alteração da TCM 1 para passagem						6.82	6.82
Alteração da TCM 2 para passagem						7.44	7.44
Alteração do programa da TCM 1	25.06	25.06		25.06	25.06		
Alteração do programa da TCM 2	23.10	23.10		23.10	23.10		
Alteração no forno de Conformal							
Alteração "ligado" para "passagem" e espera para arrefecimento (mais lento)						1142.82	1142.82
Alteração "passagem" para "ligado" e espera para aquecimento (mais rápido)				522.01	522.01		
Alteração do robô singulador							
Alteração do programa	7.10	7.10	7.10	7.10	7.10	7.10	7.10
Alteração das garras	32.63	32.63	32.63	32.63	32.63	32.63	32.63
Total de tempo de setup interno (segundos)	2156.64	2484.07	1023.96	3474.13	3464.86	4068.99	3297.76

Tabela A.3: Tempos Médios Observados das Atividades Externas Finais no estágio 1

Atividades Externas Finais	NGI-NGI	NGI-upper ou upper-NGI	Inverter-inverter	Inverter-NGI	Inverter-upper	Upper-inverter	NGI-Inverter
Alteração de placas na dispensadora							
Identificação do local das placas no armário, através do sistema	69.77	69.77	69.77	69.77	69.77	69.77	69.77
Alteração de labels							
Identificação do rolo e recolha do mesmo do armário	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98
Alterações na MPM1 e na SPI1							
Recolha do novo stencil do armário de stencils	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75	9.75
Limpeza superficial do stencil	35.68	35.68	35.68	35.68	35.68	35.68	35.68
Limpeza superficial do stencil anterior	64.03	64.03	64.03	64.03	64.03	64.03	64.03
Colocação do stencil a lavar	205.31	205.31	205.31	205.31	205.31	205.31	205.31
Recolha do stencil lavado	170.39	170.39	170.39	170.39	170.39	170.39	170.39
Alteração nas máquinas de SMD							
Colocar carrinhos que deixam de ser utilizados novamente fora da linha				113.69	113.69	113.69	113.69
Alterações na MPM2 e na SPI2							
Recolha do novo stencil do armário de stencils	28.13	28.13	28.13	28.13	28.13	28.13	28.13
Limpeza superficial do stencil	38.04	38.04	38.04	38.04	38.04	38.04	38.04
Recolha da base do armário das bases	12.15	12.15	12.15	12.15	12.15	12.15	12.15

Tabela A.3: Tempos Médios Observados das Atividades Externas Finais no estágio 1
(continuação)

Atividades Externas Finais	NGI-NGI	NGI-upper ou upper-NGI	Inverter-inverter	Inverter-NGI	Inverter-upper	Upper-inverter	NGI-Inverter
Limpeza superficial do stencil anterior	49.49	49.49	49.49	49.49	49.49	49.49	49.49
Arrumação da base anterior	3.16	3.16	3.16	3.16	3.16	3.16	3.16
Colocação do stencil a lavar	225.93	225.93	225.93	225.93	225.93	225.93	225.93
Recolha do stencil lavado	213.20	213.20	213.20	213.20	213.20	213.20	213.20
Telefonema para técnico para MDA e Flash e espera para chegada	507.70	507.70	507.70	507.70	507.70	507.70	507.70
Alteração na MDA							
Recolha das needles fixtures dos armários de needles fixtures	35.60	35.60	35.60	35.60	35.60	35.60	35.60
Arrumação de needles fixtures anteriores	20.23	19.95	19.95	19.95	19.95	19.95	19.95
Alteração na Flash							
Recolha das needles fixtures dos armários de needles fixtures	34.17	34.17	34.17	34.17	34.17	34.17	34.17
Arrumação de needles fixtures anteriores	19.59	19.59	19.59	19.59	19.59	19.59	19.59
Alterações nas máquinas TCM							
Telefonema para técnico para limpeza dos dispensadores de conformal e espera	1013.45	1013.45		1013.45	1013.45	1013.45	
Total de tempo de <i>setup</i> externo (segundos)	2761.74	2761.47	1748.02	2875.16	2875.16	2875.16	1861.71

Gráfico GANT com as atividades internas a realizar numa alteração de *setup* do tipo *Inverter-NGI*

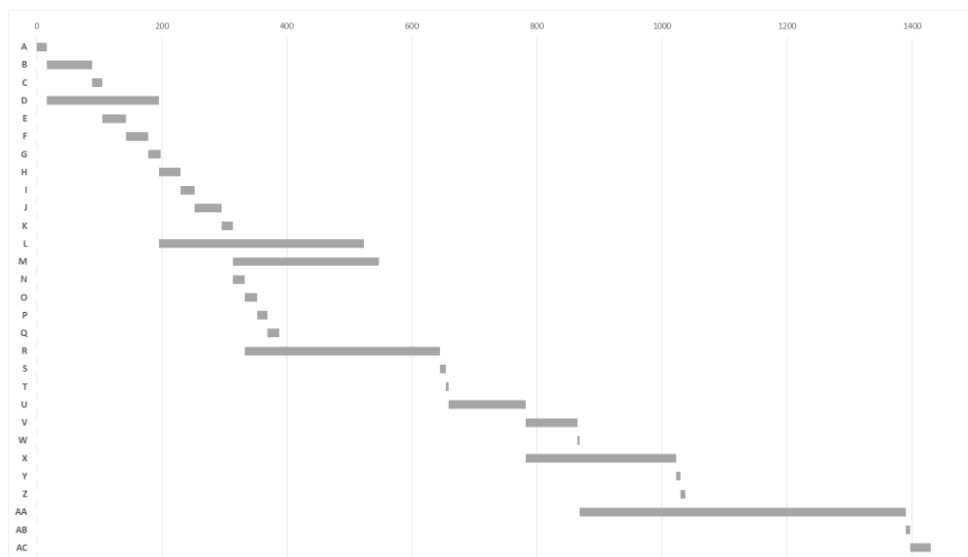


Gráfico GANT com as atividades internas a realizar numa alteração de *setup* do tipo *Inverter-Upper Display*

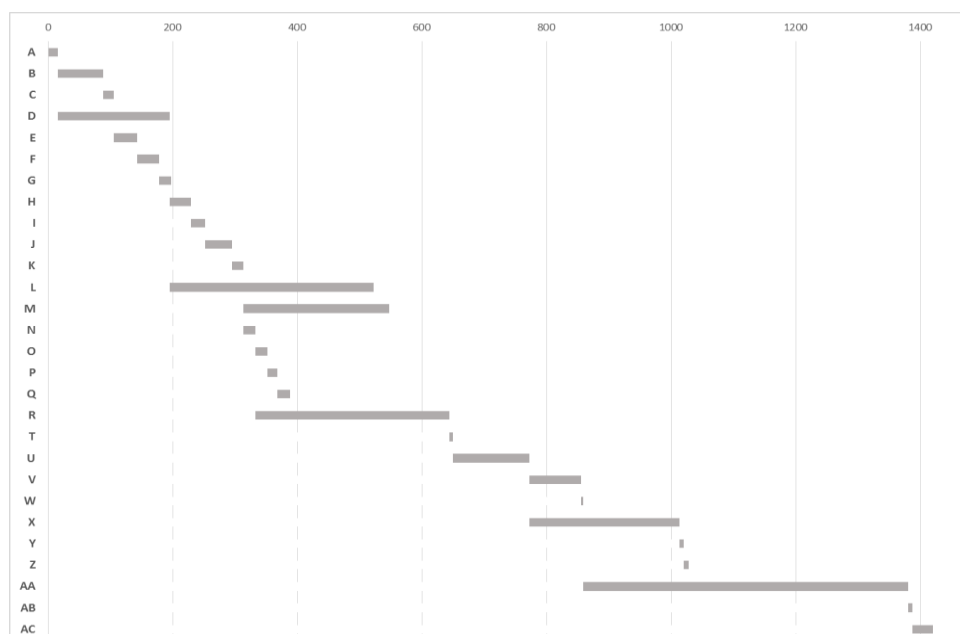
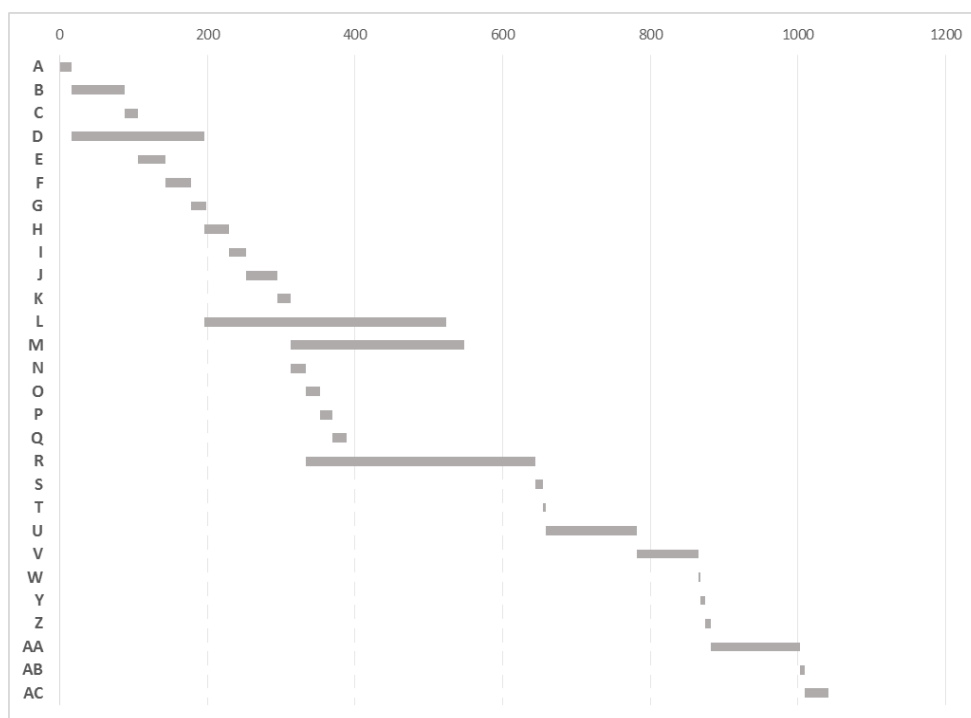
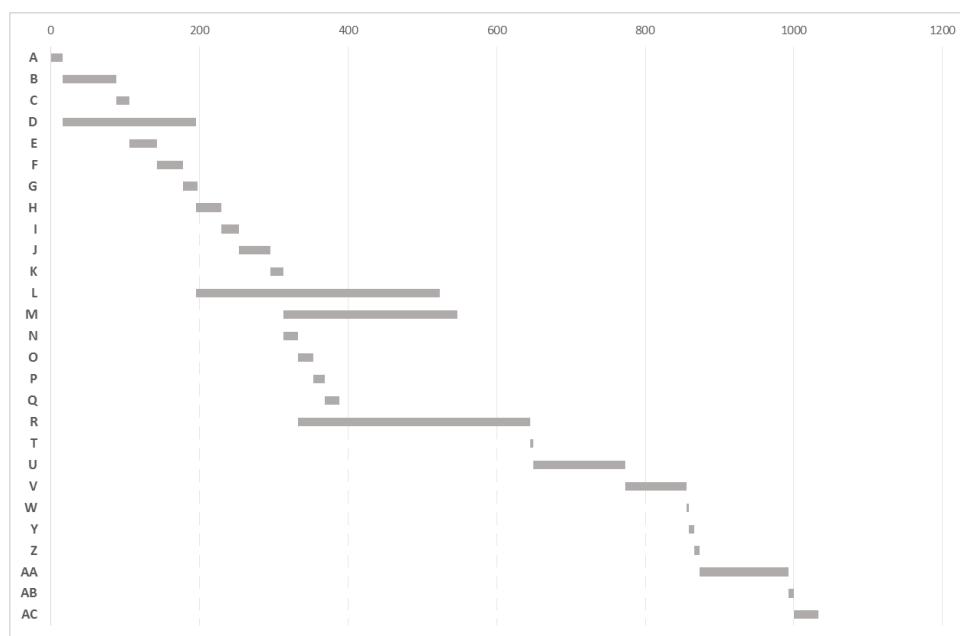


Gráfico GANT com as atividades internas a realizar numa alteração de *setup* do tipo *NGI-Inverter*



**Gráfico GANT com as atividades internas a realizar numa alteração de *setup* do tipo
*Upper Display-Inverter***



**Gráfico GANT com as atividades internas a realizar numa alteração de *setup* do tipo
NGI-NGI**

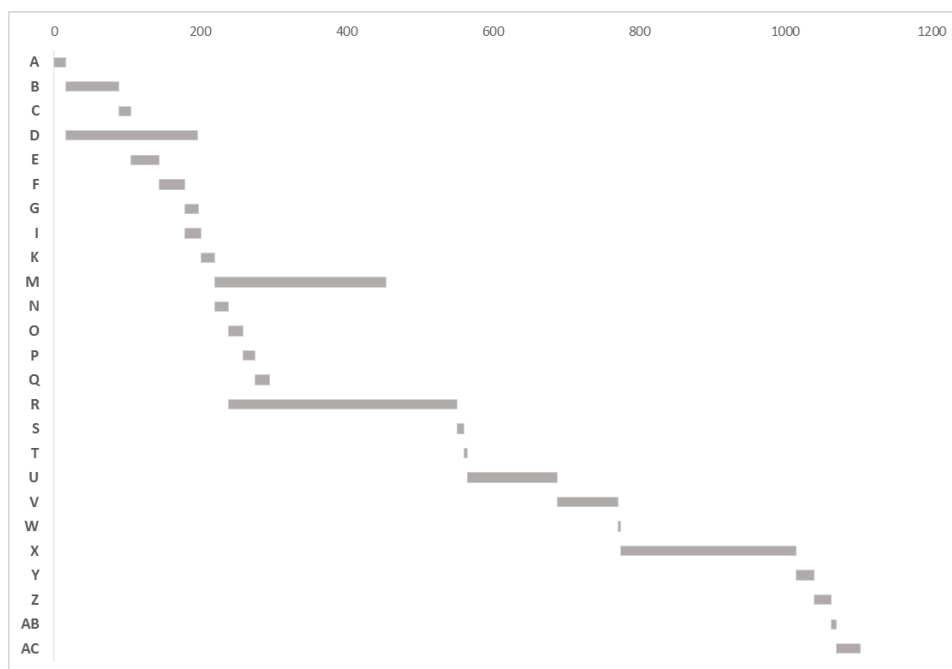


Gráfico GANT com as atividades internas a realizar numa alteração de *setup* do tipo *NGI-Upper Display*

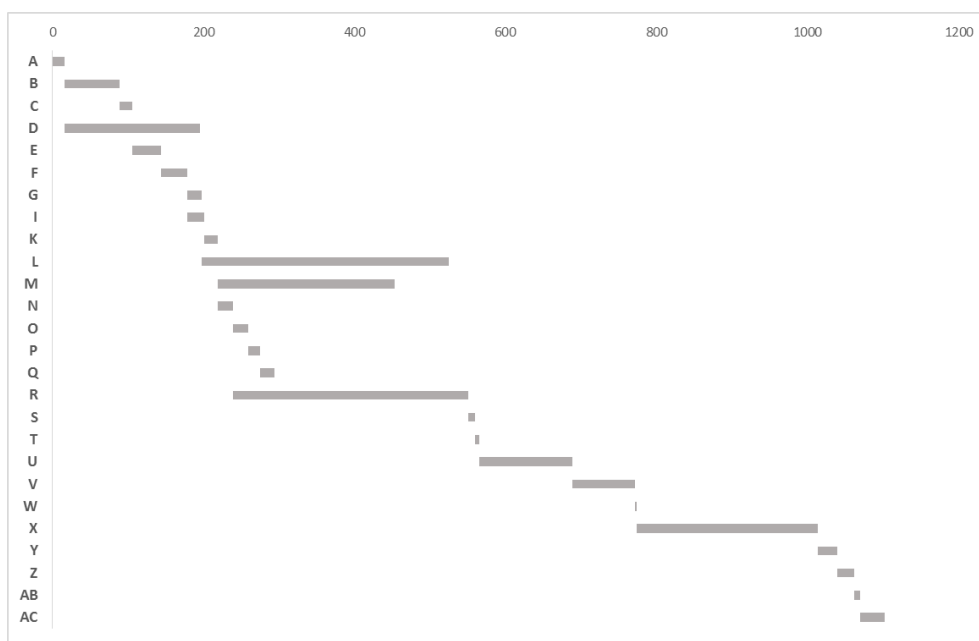
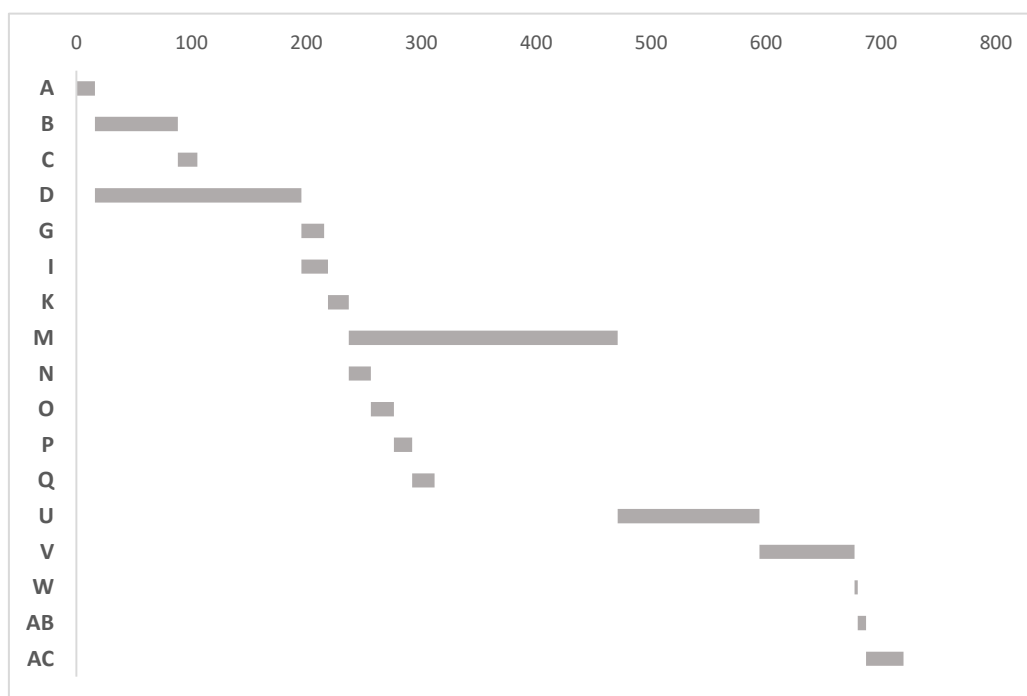


Gráfico GANT com as atividades internas a realizar numa alteração de *setup* do tipo *Inverter-Inverter*



Procedimentos para alterações de Setup após melhorias propostas por aplicação de SMED

Autor: Patrícia Carvalho



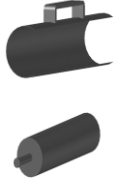
Data: 17/06/2019


Formador: _____

Data de formação: _____
















Ordem	Atividades	Operador responsável	Tipo de operação						Ferramentas necessárias	Duração esperada	Distância percorrida	Precedências e Observações
	Atividade Externa de <i>pré-setup</i>											
O.1	Identificação do local das placas no armário, através do sistema	Operador 1	●	▽	⇒	□	D		1. Folha de <i>Schedule</i> ; 2. Leitor de referências; 3. Computador com acesso ao Sistema; 4. Carro de apoio	53,70 segundos		Esta atividade pode ser iniciada assim que for colocado o último conjunto de placas (do modelo anterior) na dispensadora
O.2	Transporte até à mesa de apoio junto da dispensadora	Operador 1	○	▽	⇒	□	D		1. Carro de apoio	10 segundos	5 metros	Inicia-se quando a identificação das placas for concluída
O.3	Recolha do novo stencil do armário de <i>stencils top</i>	Operador 1	●	▽	⇒	□	D		1. Folha de <i>Schedule</i> ;	7,75 segundos		Inicia-se quando o transporte até à mesa de apoio junto à dispensadora for concluído
O.4	Transporte até ao apoio do armário dos stencils top	Operador 1	○	▽	⇒	□	D			2 segundos	70 centímetros	Inicia-se quando a recolha do <i>stencil</i> for concluída
O.5	Limpeza superficial do <i>stencil</i>	Operador 1	●	▽	⇒	□	D		1. 2 Pedacos do rolo de limpeza; 2. EPI facial; 3. <i>Spray</i> com <i>álcool</i>	35,68 segundos		inicia-se assim que o stencil for colocado no apoio de <i>stencils</i>
O.6	Identificação do rolo e recolha do mesmo do armário	Operador 1	●	▽	⇒	□	D		1. Folha de <i>Schedule</i> ;	5,98 segundos		Esta atividade pode ser iniciada quando faltarem aproximadamente 10 placas do modelo anterior no dispensador
O.7	Recolha do novo stencil do armário de <i>stencils bottom</i>	Operador 3	●	▽	⇒	□	D		1. Folha de <i>Schedule</i> ;	6,13 segundos		Esta operação pode ser iniciada assim que a alteração do programa do forno top for iniciada
O.8	Transporte até ao apoio do armário dos stencils bottom	Operador 3	○	▽	⇒	□	D			2 segundos	70 centímetros	Inicia-se quando a recolha do <i>stencil</i> for concluída
O.9	Limpeza superficial do <i>stencil</i>	Operador 3	●	▽	⇒	□	D		1. 2 Pedacos do rolo de limpeza; 2. EPI facial; 3. <i>Spray</i> com <i>álcool</i>	49,49 segundos		inicia-se assim que o stencil for colocado no apoio de <i>stencils</i>
O.10	Recolha da base do armário das bases	Operador 3	●	▽	⇒	□	D		1. Folha de <i>Schedule</i> ;	3,15 segundos		Esta atividade pode ser iniciada quando a limpeza superficial da placa for concluída
O.11	Transporte da base até ao apoio do armário dos stencils bottom	Operador 3	○	▽	⇒	□	D			1 segundo	25 centímetros	inicia-se quando a base correta for identificada

Ordem	Atividades	Operador responsável	Tipo de operação						Ferramentas necessárias	Duração esperada	Distância percorrida	Precedências e Observações
	Atividade Externa de <i>pré-setup</i>											
O.12	Telefonema para técnico para MDA e Flash e espera para chegada	Reparadora	●	▽	⇒	□	D		1. telefone com aplicação proposta	10 segundos		Esta atividade pode ser iniciada quando a última placa passar a máquina CEN 21 (A operadora 1 está responsável de avisar a reparadora neste momento)
O.13	Espera para chegada de técnico para MDA e Flash		○	▽	⇒	□	●			197,70 segundos		
O.14	Telefonema para técnico para limpeza dos dispensadores de <i>conformal</i> e espera	Reparadora	●	▽	⇒	□	D		1. telefone com aplicação proposta	10 segundos		Esta atividade pode ser iniciada quando o técnico para MDA e Flash for requisitado
O.15	Espera para chegada de técnico para conformal		○	▽	⇒	□	●			703,45 segundos		
O.16	Recolha das <i>needles fixtures</i> dos armários de <i>needles fixtures</i> para MDA	Técnico	●	▽	⇒	□	D		1. Carro de apoio	10 segundos		1. Técnico recolhe um carro de apoio que deverá encontrar-se ao lado dos armários de <i>needles fixtures</i> ; 2. Técnico coloca as <i>needles fixtures</i> a utilizar no carro de apoio;
O.17	Recolha das <i>needles fixtures</i> dos armários de <i>needles fixtures</i> para Flash	Técnico	●	▽	⇒	□	D					
O.18	Transporte das <i>needles fixtures</i> dos armários de <i>needles fixtures</i> até às máquinas	Técnico	○	▽	⇒	□	D		1. Carro de apoio	25,60 segundos	15 metros	Técnico transporta <i>needles fixtures</i> a utilizar (no MDA e no Flash) até às máquinas em questão, com recurso ao carro de apoio

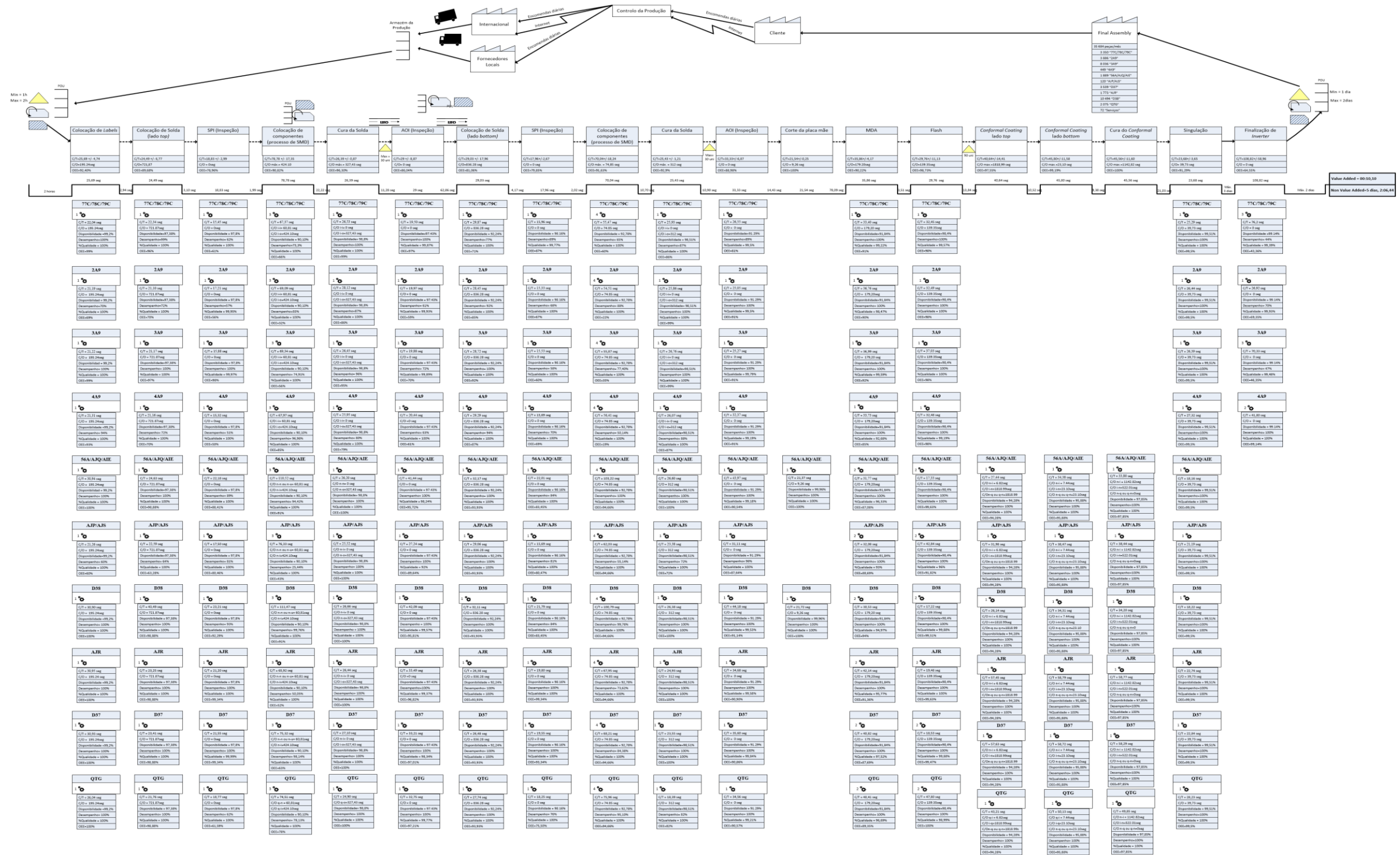
Ordem	Atividades	Operador responsável	Tipo de operação					Ferramentas necessárias	Duração esperada	Distância percorrida	Precedências e Observações
	Atividade Interna										
O.1	Colocação das placas na dispensadora	Operador 1	●	▽	⇒	□	D	1. Placas	16,04 segundos		Esta atividade deve ser iniciada assim que a última placa sai do dispensador
O.2	Colocação do novo rolo de <i>labels</i>	Operador 1	●	▽	⇒	□	D	1. Mola de auxílio 	72,20 segundos		1. puxar 10 centímetros do rolo de labels e, com o auxílio da mola prender o rolo; 2. Colocar o rolo no suporte; 3. Colocar a primeira label no gancho e trancá-lo; 4. Retirar a mola do rolo (Deve dar-se início a esta atividade quando a última placa do modelo anterior for identificada)
O.3	Seleção do programa da máquina de <i>labels</i> e verificação	Operador 1	●	▽	⇒	□	D	1. caneta tátil 	16,95 segundos		Utilização de uma caneta para ecrã tátil que deve ser colocada num suporte na máquina (Deve dar-se início a esta atividade assim que o novo rolo tiver sido colocado)
O.4	Colocação do novo <i>stencil</i> e alteração simultânea dos programas das máquinas MPM e SPI	Operador 2	●	▽	⇒	□	D	1. Leitor de referências; 2. Computador com acesso ao Sistema; 3. Conjunto espátula e extractor para retirar excesso de solda de um stencil para outro 	179,72 segundos		Nova ordem de trabalho das atividades internas: 1. Abertura da MPM <i>top</i> ; 2. Retirar o <i>stencil</i> anteriormente utilizado e colocá-lo na parte inferior da máquina; 3. Passar o código de barras da base; 4. Passar o código de barras das duas lâminas; 5. Colocar o <i>stencil</i> que será utilizado no suporte da máquina; 6. Passar o código de barras do <i>stencil</i> ; 7. Passar a restante pasta de solda do <i>stencil</i> anteriormente utilizado para o novo <i>stencil</i> (com auxílio do conjunto espátula + extractor da figura) e retirar o stencil antigo e colocá-lo no suporte para limpeza superficial; 8. Trancar o <i>stencil</i> e fechar a máquina. (Deve dar-se início a esta atividade quando o Operador 1 acaba de colocar as placas na dispensadora)

Ordem	Atividades	Operador responsável	Tipo de operação						Ferramentas necessárias	Duração esperada	Distância percorrida	Precedências e Observações
	Atividade Interna											
O.5	Empurrar carrinhos até meio da linha	Operador 1, 3 e 4	○	▽	→	□	D			38 segundos	15 metros	Operadores 1, 3 e 4 devem ir buscar os carrinhos assim que operador 1 termina a seleção do programa da máquina de <i>labels</i>
O.6	Troca do carrinho da SMD 1	Operador 1	●	▽	⇒	□	D	//		34,99 segundos		1. pegar no carrinho e empurrá-lo na direção dos carris; 2. colocar rodas nos carris; 3. empurrar e fazer encaixe (iniciar esta operação assim que o carrinho for colocado na linha)
O.7	Troca do programa da SMD 1	Operador 1	●	▽	⇒	□	D			19,67 segundos		Iniciar esta atividade assim que o carrinho 1 estiver encaixado
O.8	Troca do carrinho da SMD 2	Operador 2	●	▽	⇒	□	D	//		33,91 segundos		1. pegar no carrinho e empurrá-lo na direção dos carris; 2. colocar rodas nos carris; 3. empurrar e fazer encaixe (iniciar esta operação assim que as alterações na MPM e SPI tiverem sido terminadas)
O.9	Troca do programa da SMD 2	Operador 2	●	▽	⇒	□	D			22,99 segundos		Iniciar esta atividade assim que o carrinho 2 estiver encaixado
O.10	Troca do carrinho da SMD 3	Operador 2	●	▽	⇒	□	D			42,50 segundos		Iniciar esta atividade assim que o programa da SMD2 estiver alterado
O.11	Troca do programa da SMD 3	Operador 2	●	▽	⇒	□	D			18,15 segundos		Iniciar esta atividade assim que o carrinho 3 estiver encaixado
O.12	Alterações para aquecimento/arrefecimento do forno	Operador 3	●	▽	⇒	□	D			38 segundos		Iniciar esta atividade assim que alterações na MPM e SPI <i>top</i> estão terminadas
O.13	Espera para aquecimento/arrefecimento do forno		○	▽	⇒	□	■			289,45 segundos		
O.14	Colocação do novo <i>stencil</i> e alteração simultânea dos programas das máquinas MPM e SPI	Operador 3	●	▽	⇒	□	D			234,18 segundos		Passar a restante pasta de solda do stencil anteriormente utilizado para o novo stencil (com auxílio do conjunto espátula + extractor da figura) Esta operação pode ser iniciada assim que a troca do programa da SMD3 tiver sido concluída e quando já não existirem placas do modelo anterior antes da MPM

Ordem	Atividades Atividade Interna	Operador responsável	Tipo de operação	Ferramentas necessárias	Duração esperada	Distância percorrida	Precedências e Observações
O.15	Troca do programa da SMD 1	Operador 4	● ▽ ⇒ □ D		19,38 segundos		iniciar quando operador 3 inicia alterações na MPM
O.16	Troca do programa da SMD 2	Operador 4	● ▽ ⇒ □ D		19,98 segundos		iniciar quando anterior concluída
O.17	Troca do programa da SMD 3	Operador 4	● ▽ ⇒ □ D		15,94 segundos		iniciar quando anterior concluída
O.18	Troca do programa da SMD 4	Operador 4	● ▽ ⇒ □ D		19,54 segundos		iniciar quando anterior concluída
O.19	Alterações para aquecimento/arrefecimento do forno	Operador 1	● ▽ ⇒ □ D		40 segundos		iniciar quando alteração na primeira máquina smd estiver concluída
O.20	Espera para aquecimento/arrefecimento do forno		○ ▽ ⇒ □ ●		272 segundos		
O.21	Alteração "passagem" para "corte" ou "corte" para "passagem"	Operador 1	● ▽ ⇒ □ D		9,26 segundos		iniciar quando anterior concluída
O.22	Alteração "passagem" para "flip" ou "flip" para "passagem"	Operador 1	● ▽ ⇒ □ D		5 segundos		iniciar quando anterior concluída
O.23	Colocação das <i>needles fixtures</i> e alteração do programa	Técnico	● ▽ ⇒ □ D		123,37 segundos		iniciar quando anterior concluída
O.24	Colocação das <i>needles fixtures</i> e alteração do programa	Técnico	● ▽ ⇒ □ D		82,69 segundos		iniciar quando anterior concluída
O.25	Aceitação de <i>Changeover</i> automático no ecrã antes do <i>Conformal</i>	Operador 5	● ▽ ⇒ □ D		2, 90 segundos		iniciar quando anterior concluída
O.26	Abertura das máquinas TCM para limpeza dos dispensadores de <i>conformal</i>	Técnico	● ▽ ⇒ □ D	2 aplicadores suplentes	240 segundos		(iniciar quando anterior concluída) 1. Abrir as duas máquinas e retirar os aplicadores utilizados; 2. Montar novos aplicadores já preparados; 3. Colocar máquinas a funcionar; 4. Já com as máquinas em funcionamento limpar os aplicadores anteriormente utilizados e armazená-los até nova alteração de setup.
O.27	Alteração do programa da TCM 1	Operador 5	● ▽ ⇒ □ D		7 segundos		iniciar quando anterior concluída
O.28	Alteração do programa da TCM 2	Operador 5	● ▽ ⇒ □ D		8 segundos		iniciar quando anterior concluída
O.29	Alteração "passagem" para "ligado"	Operador 5	● ▽ ⇒ □ D		2,98 segundos		iniciar quando O.25 concluída
O.30	Espera para aquecimento do forno de conformal		○ ▽ ⇒ □ ●		519,03 segundos		
O.31	Alteração do programa	Operador 5	● ▽ ⇒ □ D		7,10 segundos		iniciar quando anterior concluída
O.32	Alteração das garras		● ▽ ⇒ □ D		32,63 segundos		

Ordem	Atividades	Operador responsável	Tipo de operação	Ferramentas necessárias	Duração esperada	Distância percorrida	Precedências e Observações
	Atividade Externa de pós-setup						
O.1	Limpeza superficial do <i>stencil</i> anterior	Operador 1		1. 2 Pedacos do rolo de limpeza; 2. EPI facial; 3. <i>Spray</i> com <i>álcool</i>	64,03 segundos		Iniciar assim que máquina MPM estiver a trabalhar
O.2	Transporte stencil até máquina	Operador 1			68 segundos	30 metros	Iniciar assim que for recebida a informação de máquina livre
O.3	Colocação do <i>stencil</i> a lavar	Operador 1			38 segundos		Iniciar assim que se chegar à máquina
O.4	Recolha do <i>stencil</i> lavado	Operador 1			19 segundos		iniciar assim que se receber a informação de stencil lavado
O.5	Transporte stencil até armário	Operador 1			68 segundos	30 metros	iniciar assim que se retirar o stencil lavado da máquina
O.6	Colocar carrinhos que deixam de ser utilizados novamente fora da linha	Operador 1, 2 e 3			38 segundos	15 metros	
O.7	Limpeza superficial do <i>stencil</i> anterior	Operador 3		1. 2 Pedacos do rolo de limpeza; 2. EPI facial; 3. <i>Spray</i> com <i>álcool</i>	38,04 segundos		iniciar assim que O.8 concluída
O.8	Arrumação da base anterior	Operador 3			3,16 segundos		Iniciar assim que máquina MPM estiver a trabalhar
O.9	Transporte stencil até máquina	Operador 3			77 segundos	40 metros	Iniciar assim que for recebida a informação de máquina livre
O.10	Colocação do <i>stencil</i> a lavar	Operador 3			38 segundos		Iniciar assim que se chegar à máquina
O.11	Recolha do <i>stencil</i> lavado	Operador 3			19 segundos		iniciar assim que se receber a informação de stencil lavado
O.12	Transporte stencil até armário	Operador 3			77 segundos	40 metros	iniciar assim que se retirar o stencil lavado da máquina
O.13	Transporte needles fixtures anteriores	Técnico		1. carro de apoio	25,60 segundos	15 metros	iniciar assim que se terminarem as trocas na MDA e na Flash
O.14	Arrumação de <i>needles fixtures</i> anteriores	Técnico			7,28 segundos		iniciar assim que se chegar com o carro de apoio ao armário
O.15	Arrumação de <i>needles fixtures</i> anteriores	Técnico			6,31 segundo		iniciar assim que O.14 concluída

Anexos E - VSM



Legenda:

— UFO —→ Utilizou-se este símbolo para representar os sistemas UFO's existentes antes e depois dos testes AOI, uma vez que não existe simbologia disponível para este sistema.

Uma vez que, neste caso, cada operador está alocado a uma zona da linha (tendo à sua responsabilidade vários processos), considerou-se pertinente estudar o número de máquinas disponível para cada processo.

C/O i q ou q-i	Changeover de um qualquer modelo de Inverter para Upper Display ou vice-versa.
C/O i o ou o-i	Changeover de um qualquer modelo de Inverter para Upper Display ou qualquer modelo de NGL ou vice-versa.

